



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
Departament de Construccions Arquitectòniques I
Doctorat Àmbits de Recerca en l'Energia i el Medi Ambient a l'Arquitectura

Tesis Doctoral

**Fachadas ventiladas: hacia un diseño eficiente en
Brasil**

Camila Gregório Atem



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
Departament de Construccions Arquitectòniques I
Doctorat Àmbits de Recerca en l'Energia i el Medi Ambient a l'Arquitectura

Tesis Doctoral

Fachadas ventiladas: hacia un diseño eficiente en Brasil

Autora: Arq. Ms. Camila Gregório Atem
Directora de tesis: Prof. Dra. Helena Coch Roura
Co-directora : Prof. Dra. Carolina Aparicio Fernández

Barcelona
Septiembre/2016

Dedico cada linha deste trabalho a meus
queridos Rovenir e Luca, sem o apoio de um,
o sorriso do outro e o amor de ambos,
não conseguiria chegar até o final.
Vocês são fundamentais na minha vida.

AGRADECIMIENTOS

Permítanme los lectores de esta tesis unas primeras líneas para unos agradecimientos especiales.

En primer lugar, gracias a profesora Helena Coch, por confiar en mi capacidad y por haberme ayudado a realizar este trabajo del que me siento muy orgullosa.

A continuación, quiero dar las gracias a la profesora Carolina Aparicio Fernández, el profesor José Luis Vivancos y la Universidad Politécnica de Valencia por el préstamo del software y todo auxilio en la realización de las simulaciones.

Por último a mi familia y amigos. Gracias por las oraciones y palabras de apoyo.

Muchas gracias a todos.

Resumen

La fachada ventilada es un elemento de cerramiento multicapa que es utilizado en Europa desde hace algunas décadas. Con alto grado de industrialización y especialización de elementos, esta “piel” del edificio ha evolucionado mucho desde su creación en Reino Unido, donde los objetivos eran solamente impedir el paso del agua hacia el interior, evitando humedades. A lo largo de los años ésta ha llegado a finas capas con diferentes prestaciones y acabados exteriores versátiles y atractivos. Ha ganado también la función de ahorro energético en los tiempos actuales, principalmente en los países soleados del Mediterráneo, dónde parece que tiene un comportamiento térmico favorable, según demuestran varios estudios (Naboni, 2007, Irulegui, 2010; Giancola, 2010; Aparicio Fernández, 2010; Suarez, 2012, Peci López et al, 2012).

Un poco lejos de esta realidad, Brasil comienza a dar sus primeros pasos hacia la industrialización de las fachadas. La fachada ventilada aún no es una realidad pero ya empieza a ser utilizada. La propuesta de esta tesis es introducir la visión climática en la aplicación de la fachada ventilada en Brasil, un país muy soleado en lo cual este cerramiento tiene, según los estudios, potencial de ahorro energético.

El objetivo de esta tesis es fornecer información para la toma de decisiones en el proyecto. El estudio se realiza a partir de simulaciones en el programa Trnsys 17[®] (Klein, 2006), validado para la simulación de fachadas ventiladas por la profesora Carolina Aparicio Fernández de la Universidad Politécnica de Valencia. A partir de esta validación, las simulaciones han sido realizadas para las 8 zonas climáticas de Brasil (ABNT; 2005). Han sido probadas algunas variables de la fachada importantes para el clima brasileño: absorptividad y emisividad (relativos a la radiación solar), movimiento de aire (relativo a anchura de la cámara de aire, entradas y salidas de aire, presencia de juntas abiertas), transmitancia de la hoja interior (relativo al aislamiento térmico) y exterior.

Al final un factor importante para el diseño de la fachada ha sido probado: el porcentaje de acristalamiento. El estudio tiene como objetivo auxiliar al proyectista que quiere utilizar una fachada ventilada como elemento pasivo o elemento de ahorro energético en la construcción, a través de las varias simulaciones ha sido posible verificar los límites y potencialidades de la fachada ventilada en climas tropicales y subtropicales.

Palabras clave: fachada ventilada, eficiencia energética , simulación energética, Brasil, Trnsys

Abstract

The ventilated facade is a multi-layer element that has been used in Europe for several decades. It has high degree of industrialization and specialization of elements. This "skin" of the building has evolved considerably since its inception in the UK, where the targets only prevented the passage of water inland, avoiding moisture. Over the years it has changed to thin layers with different performances and attractive exterior finishes. It has also won the energy saving function in modern times, mainly in the sunny Mediterranean countries, where it appears to have a favorable thermal behavior, according to several studies (Naboni, 2007, Irulegui, 2010; Giancola, 2010; Aparicio Fernández, 2010 ; Suarez, 2012, at Peci Lopez, 2012)

A bit far from this reality, Brazil begins to take its first steps towards industrialization of the facades. The ventilated facade is still not a reality but it is beginning to gain space. The proposal of this thesis is to insert the bioclimatic vision in applying the ventilated facade in Brazil, a very sunny country in which this enclosure has, according to studies, potential energy savings.

The aim of this thesis is to provide information for decision-making in the project. The study was conducted using simulations in Trnsys 17 © (Klein, 2006) program validated for simulating ventilated facades by Professor Carolina Aparicio Fernandez of the Polytechnic University of Valencia. From this validation, the simulations have been performed for 8 bioclimatic zones of Brazil (ABNT, 2005). Some variables of the facade were tested for the Brazilian climate: absorptivity and emissivity (relative to solar radiation), air movement (relative to width of the air chamber, incoming and outgoing air, the presence of open joints) transmittance of the inner sheet (relative to thermal insulation) and exterior sheet.

At the end an important design factor of the facade was tested: the percentage of glazing. The study objective is to help the designer who wants to use a ventilated facade as a passive element or energy saving in construction. Using various simulations it has been possible to verify the limits and potential of the ventilated facade in tropical and subtropical climates.

Key words: ventilated façade, energy efficiency, energy simulation, Brazil, Trnsys

SUMÁRIO

INTRODUCCIÓN.....	09
 1. LAS CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS Y EL LOS PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DE UNA FACHADA VENTILADA	 19
1.1 Transmisión de calor en una fachada ventilada: Radiación.....	22
1.2 El modelo de transmisión de calor por convección.....	25
1.3 El modelo de transmisión por conducción.....	27
 2. DESCRIPCIÓN DEL OBJETO DE INVESTIGACIÓN:	
TRES MIRADAS.....	31
2.1 <u>¿Qué dicen las investigaciones?</u>	32
2.1.1 Los tópicos encontrados.....	33
2.1.2 Estudios en Brasil.....	50
2.1.3 Conclusiones finales.....	52
2.2 <u>¿Qué dicen las empresas?</u>	53
2.2.1 Análisis de las partes.....	59
2.3 <u>¿Qué dicen los edificios?</u>	70
2.3.1 Ecourban.....	70
2.3.2 Roc Boronat.....	81
2.3.3 El triangle del 22@.....	88
2.3.4 CEIP El Tren del Fort Pienc.....	93
2.3.5 Hostel Twentytu.....	103
2.3.6 RBA.....	109
2.4 Eficiencia energética de la fachada ventilada: Mito o realidad.....	115
 3. ANÁLISIS DEL CLIMA EN BRASIL: las preexistencias para el uso de la fachada ventilada.....	 117
3.1 Clasificación climática de Brasil.....	118
3.2 Normativas Brasileñas de Desempeño térmico y la Zonificación Climática.....	121
3.3 Radiación solar en la superficie de Brasil.....	130
3.3.1 La incomodidad térmica causada por la asimetría de radiación en los climas cálidos.....	138

3.3.2 Utilización de las barreras radiantes en climas cálidos.....	141
4. EL MODELO DE SIMULACIÓN.....	147
4.1 Simulación energética de edificios.....	147
4.2 El software: TRNSYS.....	149
4.3 Las simulaciones de flujos de aire: TNFLOW.....	150
4.4 El modelo utilizado.....	152
4.5 La validación del modelo.....	156
5. LA SIMULACIÓN EN BRASIL	163
5.1 El cerramiento convencional en Brasil.....	163
5.2 Los primeros pasos de la FV en Brasil.....	164
5.3 Selección de ciudades representativas para cada zona climática..	165
5.4 Condiciones de la simulación	170
6. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES.....	177
6.1 Zonas climáticas 1, 2 y 3.....	181
6.2 Zonas climáticas 4, 5 y 6.....	210
6.3 Zonas climáticas 7 y 8.....	232
CONCLUSIÓN.....	256
BIBLIOGRAFÍA.....	278
Bibliografía consultada.....	287

ANEXO

Guía de diseño eficiente

INTRODUCCIÓN

Toda tecnología en su recorrido, desde su invención hasta su muerte, pasa por procesos de adaptación cuando se incorpora a nuevas realidades culturales, sociales y/o climáticas. Es un proceso que empieza con promesas, pasa por verificaciones y finalmente por adaptaciones a una nueva situación. Estas pueden llevar a resultados muy buenos o pueden simplemente sustituir una antigua tecnología por una nueva, sin avances sustanciales.

El tema energético actual, con la subida de los precios y fuentes no renovables de energía que aún no pueden ser sustituidas, hace que se busquen buenas prácticas en todos los ámbitos. En el sector de la construcción, responsable por consumir grandes cantidades de energía para producción y utilización de los edificios, el tema de la eficiencia energética es emergente. Edificios de nueva construcción que ahorren

energía y rehabilitaciones ecoeficientes son temas importantes, tanto en Europa como en Brasil, y el tema de las fachadas es bastante discutido.

Las pérdidas y las ganancias de calor a través de las fachadas tienen una gran influencia en los consumos anuales de calefacción y refrigeración de los edificios, especialmente significativa en edificios aislados y de gran altura, característicos en muchas ciudades brasileñas.

Brasil es un país en desarrollo, esto se puede evaluar a partir de la gráfica de consumo de energía eléctrica per cápita mundial. El país está aún lejos de un alto consumo energético. Esto quiere decir que hay potencial de crecimiento y que la demanda energética tiene la tendencia a aumentar.

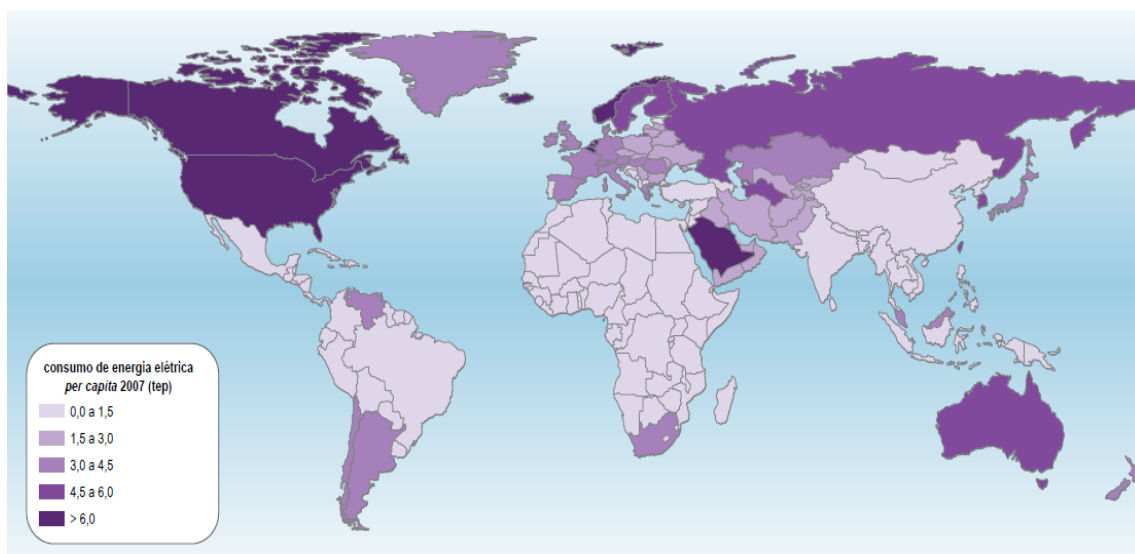
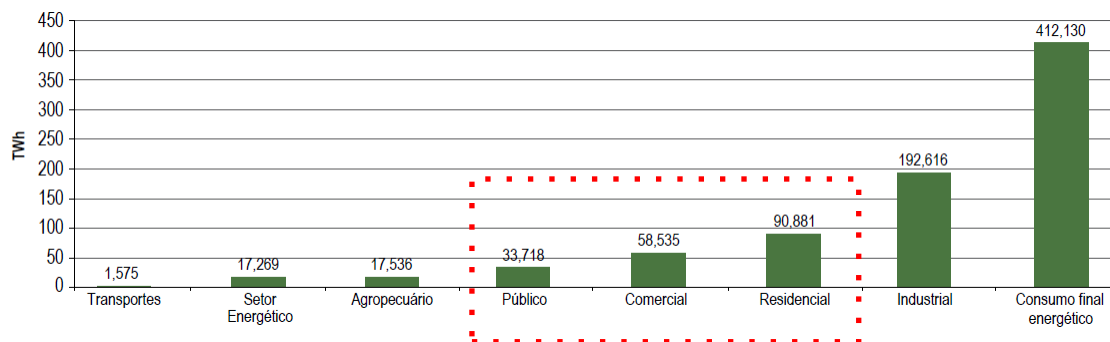


Fig. 1 Consumo de energía eléctrica per capita en 2007
Fuente: BP, 2008 apud Atlas de Energia Elétrica do Brasil, 2008.

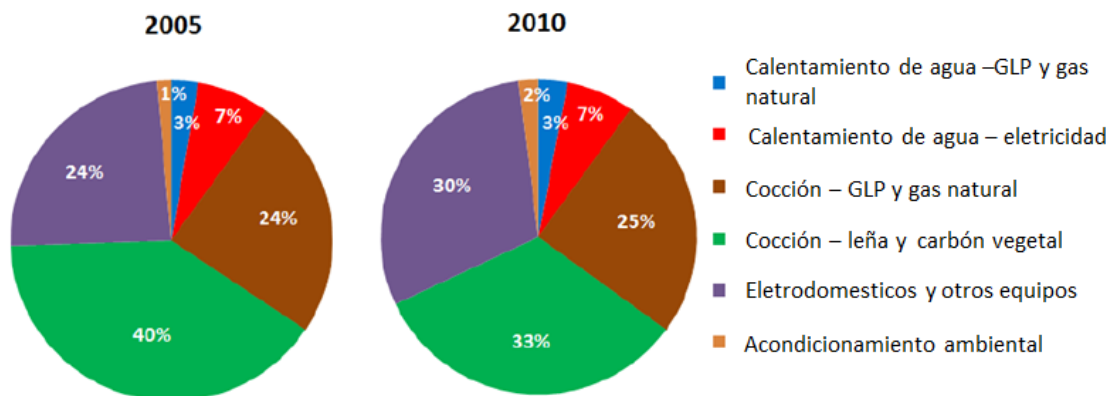
Brasil presenta una matriz de generación de energía eléctrica de origen predominantemente renovable, siendo que la generación hidráulica responde por 70,1% de la oferta interna (Aneel, 2008). Esto sería altamente favorable si no hubiese problemas de sequía en las zonas de generación hidroeléctrica que hacen que las usinas termoeléctricas trabajen mucho más de lo que deberían, sumándose a eso los problemas de gestión pública y control de precios por parte del gobierno. Así, el tema energético en el país es muy frágil y la eficiencia energética es muy relevante.

Es posible también observar la distribución de consumo de la energía entre los sectores. Los sectores público, comercial y residencial son responsables por 44, 45 % del consumo final energético brasileño, es decir, la arquitectura de estos edificios tiene una parte de la responsabilidad por estos gastos.



Gráfica 1. Consumo de energía eléctrica por sectores en Brasil em 2007. Fuente: Atlas de energia elétrica no Brasil , 2008.

En los edificios comerciales 50% de la energía consumida se debe al aire acondicionado en el país (Rutter, 2004). Sin embargo es importante señalar que el condicionamiento artificial de los edificios residenciales aún no es una realidad en todo el país, ya que sólo un 2% de la energía utilizada es para acondicionamiento térmico (Atlas de energía eléctrica no Brasil, 2008)



Gráfica 2. Demanda de energía residencial por uso final en Brasil
Fuente: Atlas de Energia Elétrica do Brasil, 2008

De eso se puede concluir que la arquitectura además de ahorrar energía en los edificios comerciales, tiene un papel fundamental para conseguir confort dentro de los ambientes sin climatización. Luego, como el potencial de crecimiento de las demandas energéticas es grande hay que pensar en cómo proyectar mejor para que se gaste menos energía con climatización en el futuro.

La promesa de la fachada ventilada

Las fachadas ventiladas surgen como una promesa de “refrigerar o ventilar” la pared exterior y así reducir las cargas térmicas de las edificaciones principalmente en verano. De hecho diferentes investigaciones en países mediterráneos respaldan su

validez cuanto a la reducción de la demanda de refrigeración en Europa. Sin embargo, la idea original de este tipo de fachada proviene de países fríos y húmedos.

En algún momento de la primera parte del siglo 19, el *Cavity Wall* o *Rain Screen* era redescubierto por los británicos¹. Planes que datan de 1805 sugieren un tipo de construcción de pared con cavidad. Contaba con dos hojas (tabiques) de ladrillo unidas por los encabezados de ladrillo, que se extendían a través de una cavidad de 6". Una de las primeras publicaciones británicas (con fecha de 1821) sugiere el uso de paredes con cavidades de aire como un medio de protección contra la penetración de humedad (Ostrander Y Satko, 2011).

Como señala Paricio (2014):

...“ Hace veinte años importamos (*España*) el *Cavity Wall*, un “rain screen” anglosajón, en vez de actualizar nuestro tabique pluvial. Lo peor es que la adoptamos como fachada ventilada suponiendo una eficaz convección”.

Esta idea de la eficiencia de la convección está presente en todos los estudios sobre el tema y fomenta la imaginación creativa de los arquitectos.

El sistema ha surgido con el propósito de barrera contra las aguas, pero cuando llega a los países mediterráneos, cambia de nombre y genera cierta confusión en cuanto al funcionamiento del sistema. Según Pardal (2014):

“No se trata de una mera cuestión lingüística. Con este cambio se pone de manifiesto el menor interés por los problemas de estanquidad para dar relevancia al comportamiento térmico de este sistema de fachada.”

Ahí está la primera adaptación, está claro que en los países originarios el problema nunca ha sido el calor. Pero en tierras del sur, la alta incidencia de radiación solar y las altas temperaturas del verano se convierten en una cuestión importante y una solución se ve en este nuevo elemento.

Es posible aún sumar a la cuestión térmica la gran libertad compositiva en este tipo de fachada, donde todo está separado: subestructura, cerramiento exterior, las conexiones a seco y las juntas abiertas, todo flexibiliza y dinamiza la idea de fachada.

Con idea de eficiencia energética en climas más cálidos, parece hacer sentido una cámara de aire ventilada, es decir, por donde pasa el “viento”, entre comillas pues

¹ *Cavity Walls* (dos paredes con una cavidad interior) no son nuevas, se han observado en las antiguas estructuras griegas y romanas. En la ciudad grecorromana de Pérgamo, en las colinas que dominan la ciudad turca de Pérgamo, un muro de piedra de tipo cavity wall todavía existe. (Ostrander y Satko, 2011)

no es realmente viento, sin embargo la idea de aire con velocidad cautiva a los consumidores, sean ellos, arquitectos, ingenieros o usuarios.

La idea se vende así, la eficiencia energética prometida, fácil instalación, libertad compositiva, llegando hasta la sostenibilidad pues ahorra energía, sus piezas son reemplazables, entre otras razones. Las adaptaciones son inevitables una vez que los propósitos de su utilización son otros.

Cuando este sistema de fachadas atraviesa el Atlántico y llega a Brasil cuyo clima es bastante diferente de Europa y diverso en sí mismo, llega con la promesa de eficiencia, sin embargo por esta diferencia climática, la manera de utilización debe ser revisada. En primer lugar en Brasil el problema es más no dejar el calor entrar y casi nunca mantener el calor dentro del edificio como en Europa. Mesmo en ciudades mediterráneas, los períodos de invierno son superiores a los de verano. En Brasil eso casi nunca ocurre. Entonces el planteamiento del problema es otro. ¿La pregunta sería porque la fachada ventilada, como está en Europa, funcionaría en Brasil, un país caluroso con alta incidencia de radiación solar? Hay que estudiar si los beneficios que provee en Europa siguen en tierras tropicales.

La idea en Brasil empieza a propagarse con la publicidad:

“A Fachada Ventilada é considerada uma alternativa sustentável e auxilia na melhoria do conforto térmico, ou seja, é capaz de reduzir aproximadamente entre 30 a 50% do consumo de energia do edifício.”²

“Um sistema de fachada ventilada pode apresentar várias vantagens. Em primeiro lugar, um efeito de chaminé aspira o ar através da câmara, permitindo a remoção do calor e da umidade da chuva ou condensação³. Em segundo lugar, o revestimento exterior de proteção bloqueia a carga térmica e possibilita um isolamento contínuo⁴, reduzindo consideravelmente a necessidade de utilização de ar condicionado. Em terceiro lugar, estes resultados demonstraram proporcionar uma melhoria no conforto nas zonas de habitação.”⁵

“Esta solução arquitetônica atualmente tem grande importância devido as necessidades de adoções de praticas sustentáveis e maior vida útil dos empreendimentos.”⁶

“Alinhado com os conceitos de sustentabilidade, o sistema de fachadas ventiladas ... oferece melhorias no desempenho térmico das edificações. O fato de o revestimento cerâmico estar afastado das alvenarias externas das edificações, juntamente com o uso de juntas abertas entre as placas cerâmicas permitem que as fachadas

² “ La fachada ventilada es considerada una alternativa sostenible y auxilia en la mejora del confort térmico, es decir, es capaz de reducir aproximadamente 30 a 50% del consumo de energía del edificio.”

³ En Brasil el fenómeno de condensación casi no ocurre.

⁴ Aislamiento térmico tampoco es una realidad en el país.

⁵ *Un sistema de fachada ventilada puede presentar varias ventajas. En primer lugar, un efecto de chimenea aspira el aire a través de la cámara, permitiendo la eliminación del calor y de la humedad de la lluvia o condensación. En segundo lugar, el revestimiento exterior de protección bloquea la carga térmica y posibilita un aislamiento continuo, disminuyendo la necesidad de utilización del aire condicionado. En tercer lugar, estos resultados han demostrado proporcionar mejora en el confort de las zonas de viviendas.*

⁶ *Esta solución arquitectónica actualmente tiene gran importancia debido a las necesidades de adopción de prácticas sostenibles y una vida útil mayor de los proyectos.*

*"respirem", dissipando boa parte da radiação solar antes que essa adentre no ambiente interno das edificações."*⁷

Estas afirmaciones son encontradas en páginas web de las empresas que ofrecen fachadas ventiladas en Brasil. No se han identificado las empresas que actualmente comercializan el producto en Brasil porque son informaciones solamente ilustrativas de la situación actual del producto en el país. Esta publicidad se basa en los datos de Europa (condensación, aislamiento térmico continuo...) pues en Brasil hay muy pocos estudios sobre el tema. Porcentajes y ventajas vienen todos de Europa. ¿Serían verdaderos en Brasil? Este es el tema de esta investigación.

Objetivos Generales

El objetivo genérico de esta investigación es entender la fachada ventilada en un ambiente lejos de donde ha sido creado. ¿Cómo puede este elemento ser introducido de la mejor manera en este nuevo ambiente? Tiene los mismos beneficios energéticos que en Europa? El enfoque es el comportamiento térmico de las fachadas ventiladas.

A partir de un estudio profundizado del tema se pretende desarrollar una guía de diseño de fachadas ventiladas para las 8 zonas climáticas de Brasil, con el objetivo de sacar el máximo provecho del potencial de ahorro energético y confort térmico interior de este tipo de cerramiento. La guía es un instrumento esclarecedor, una vez que relaciona diversas variables: materiales, absorptividad, emisividad, movimiento del aire, anchuras entre otros.

Objetivos Específicos

- Comprender el funcionamiento de una fachada ventilada en climas tropical y subtropical.
- Comprender el papel de la radiación solar y del movimiento de aire en la configuración de la fachada ventilada y sus respuestas térmicas, a partir de ahí proponer el uso optimizado y eficiente del cerramiento (manejar la absorptividad, la emisividad, el anchura de la cámara de aire, las entradas y salidas del aire).

⁷En línea con los conceptos de sostenibilidad, el sistema de fachadas ventiladas ... ofrece mejoras en el rendimiento térmico de los edificios. El hecho de que el revestimiento de cerámica para estar lejos de las paredes exteriores de los edificios, junto con el uso de juntas abiertas entre las placas de cerámica permite que las fachadas "respirar", disipando gran parte de la radiación solar antes de este entre en el ambiente interior de los edificios.

- Cuestionar el porcentaje de huecos con relación a la eficiencia de la fachada ventilada en climas tropicales. Lo que se quiere saber es a partir de que límites la fachada es la protagonista en los intercambios de calor y cambiarla o mejorarla es una ventaja para el confort y el consumo energético;
- Analizar las ventajas y desventajas en utilizar aislamiento térmico en Brasil.
- Discutir la importación de tecnologías.

Metodología

El estudio empieza con un abordaje teórico sobre la transmisión de calor en las fachadas ventiladas. Los procesos de paso del calor son analizados individualmente y al final el cerramiento es entendido en su complejidad.

Se llevan a cabo estudios teórico-prácticos a partir de tres miradas distintas. El objetivo es correlacionar conocimientos teóricos y prácticas usuales en España a partir de:

- las investigaciones científicas, principalmente artículos de revistas indexadas y tesis doctorales.
- las empresas productoras, a través del material disponible para comercialización de las fachadas ventiladas.
- los edificios construidos, a través de visitas *in locu* a edificios construidos con fachada ventilada.

Estudios sobre el clima brasileño, las normativas del país NBR 15220 – *Desempenho térmico de edificações* (2005) y NBR 15575 – *Desempenho de edificações* (2008) y ciudades representativas de las ocho zonas climáticas nombradas por la normativa NBR 15220, terminan el estudio teórico que envuelve el tema.

La parte práctica de la tesis se realiza a través de simulaciones energéticas. Este método de trabajo ha sido elegido porque hay muy pocos edificios construidos en Brasil con esta tecnología, así hacer mediciones en edificios construidos no era una opción viable para este trabajo.

Un modelo de simulación creado y validado por mediciones de un edificio real, situado en la Universidad Politécnica de Valencia, ha sido realizado por la profesora doctora Carolina Aparicio Fernández (UPV). Esta tesis se utiliza de este modelo para procesar las simulaciones en ambiente brasileño. El objetivo de esta metodología de trabajo es trabajar a partir de un modelo fiable y simular la realidad de climas tropicales y subtropicales, añadiendo así más conocimiento al tema.

La fachada modelo está constituida de:

- hoja interior ligera compuesta por panel de fibras de mortero (1 cm), lana de roca (8 cm) y doble panel de cartón yeso (1,6 cm); aislamiento térmico de espuma de poliuretano proyectado (4 cm);
- cámara de aire de 9cm de ancho;
- hoja exterior con cerramiento ligero de paneles colgados con acabado de aluminio anodizado y alma de neopreno.

Las simulaciones se llevan a cabo en el software Trnsys© 17, bastante conocido en el área de simulación térmica por posibilitar fiabilidad en sus resultados. Este software ha pasado por evaluación con el BESTEST (Building Energy Simulation TEST), un método para probar, diagnosticar y validar las capacidades de programas de simulación energética en edificios. Dentro del TRNSYS© se utiliza de una herramienta llamada TRNFLOW© que integra el modelo multi-zona de flujo de aire COMIS al TYPE 56 de TRNSYS© para analizar los parámetros del flujo de aire a través de la cámara ventilada.

Las simulaciones son realizadas para las 8 zonas climáticas brasileñas (NBR 15220). En las simulaciones son probados materiales de la hoja interior y exterior, diferentes coeficientes de absorción solar, diferentes tipos de ventilación, diferentes tamaños de la cámara de aire, diferentes tamaños de las entradas y salidas de aire, cámara de aire sin ventilación y diferentes emisividades, con el fin de descubrir la mejor forma de utilizar la fachada ventilada en Brasil.

Al final son analizados los resultados a partir de gráficas de demandas energéticas y de gráficas de temperaturas anuales ambientales y superficiales en los diferentes cerramientos en las ocho zonas. Las zonas son agrupadas de forma a analizar mejor los datos obtenidos. Los límites de confort utilizados en estos análisis y también en las simulaciones son las temperaturas de 21°C a 27°C. Estos valores han sido elegidos después de una investigación sobre los límites aceptados en el país en otras investigaciones. Como material de la conclusión se desarrolla la guía de diseño para auxiliar en la mejor inserción del cerramiento en el país.

Limitaciones de la investigación

La mayor limitación de esta tesis ha sido la imposibilidad de medición de fachadas ventiladas en Brasil. Actualmente existen pocas fachadas ventiladas construidas en el país y la distancia de la investigadora hasta los centros dónde están

situados ha hecho que este estudio fuera solamente a través de simulaciones.⁸ Obtener datos de la realidad con que se trabaja sería muy interesante incluso para compararse a la realidad Española.

No obstante, al final, a pesar de esta limitación, la valoración sobre las simulaciones de la tesis ha sido positiva pues es un universo nuevo y necesitaba empezar de algún punto fiable.

Estructura de la tesis

La memoria de la tesis se estructura en siete capítulos principales de la siguiente forma: el primer capítulo caracteriza térmicamente el elemento constructivo fachada ventilada, explica qué procesos de intercambio energéticos están asociados a su utilización, cuales son las propiedades térmicas de los materiales envueltas en las diferentes fases de intercambio de calor.

En el segundo capítulo el objeto de investigación es analizado: la fachada ventilada es estudiada a partir de tres miradas distintas. La primera mirada es hacia lo que dicen las investigaciones científicas sobre este elemento, principalmente en países mediterráneos donde el clima tiene estación cálida más intensa que el resto de Europa. La segunda mirada es hacia lo que ofrece el mercado, objetiva entender la fachada ventilada a través de los que la producen y comercializan. Lo que se pretende es entender los tipos de producto ofrecidos en el mercado. La tercera y última mirada es hacia las construcciones reales. Saliendo del ámbito de investigación y de ventas y mirando hacia los objetos construidos. Han sido analizados 6 edificios proyectados y construidos con fachada ventilada en la ciudad de Barcelona.

El tercer capítulo es una descripción del clima brasileño, sus zonas, características principales y normativas relativas al comportamiento térmico de los edificios.

El cuarto capítulo explica el modelo elegido para las simulaciones y cómo ha sido construido y validado. El software elegido para las simulaciones y sus características son presentados en este apartado.

El quinto capítulo trata de las simulaciones en Brasil. Se tratarán del cerramiento convencional, los primeros pasos de la fachada ventilada en Brasil, la selección de ciudades representativas para cada zona climática y las condiciones de simulación de esta tesis.

⁸ Esta tesis ha sido realizada por dos años en España (2013-15) y en el último año (2015-16) en Brasil.

Por fin en el capítulo sexto estarán descritos los analices de los resultados de las simulaciones y en el capítulo séptimo están las conclusiones finales del trabajo y la guía de diseño.

1.0 LAS CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS Y LOS PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DE LAS FACHADAS VENTILADAS

Este apartado introductorio tratará de entender el comportamiento térmico de una fachada ventilada, explicará cómo funcionan los procesos de transferencia de calor en cada capa del cerramiento, intentando obtener la base para el análisis global de este cerramiento compuesto en climas tropicales y subtropicales. Es necesario entender qué tipo de mecanismos de transferencia de calor actúan y qué parámetros intervienen en cada uno de ellos, aunque las ecuaciones analíticas no sean exactamente las que el programa informático TRNSYS© usará para llevar a cabo las simulaciones.

La fachada ventilada es un sistema de cerramiento vertical compuesto por capas interpuestas: hoja exterior opaca, cámara de aire, aislamiento térmico y hoja interior .

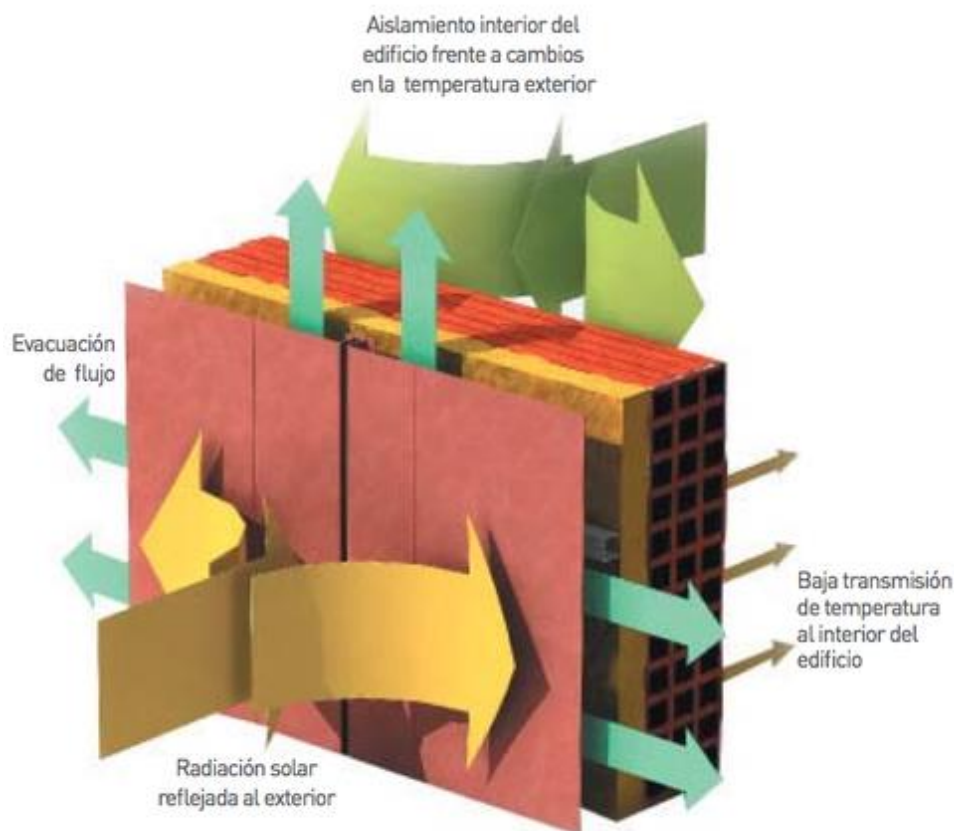


Fig. 2 Esquema térmico de la fachada ventilada. Fuente: plataformaarquitectura.cl

No se debe confundir la fachada ventilada estudiada por esta tesis con las fachadas de doble piel (DSF - Double Skin Façades). Estas fachadas tienen la característica de tener la hoja exterior en vidrio y la cámara de aire es ancha, con

varios tipos de ventilación y protección solar. La hoja interior puede ser entera en vidrio o una parte opaca y otra transparente.

Entender el proceso de transmisión de calor que se produce en las fachadas construidas con cámaras de aire ventiladas, no es una tarea sencilla. Son muchos los procesos que intervienen y que se indican a continuación:

- cantidad de radiación solar incidente;
- velocidad y dirección de vientos locales;
- material de la hoja exterior;
- color de la hoja exterior;
- espesor y forma de las juntas de la fachada;
- entradas y salidas de aire;
- espesor de la cámara de aire;
- libertad de movimiento de aire dentro de la cámara;
- altura de la cámara de aire;
- materiales de la hoja interior.
- Espesor del aislamiento térmico

Este tipo de cerramiento, por ser reciente, no está totalmente caracterizado térmicamente, por lo tanto es necesario, principalmente en realidades diferentes de las del hemisferio norte, estudiar su comportamiento. Hasta hace algunos años todo se resolvía con el espesor (Lstiburek, 2008). *“Hoy suponemos delicados e inteligentes materiales para resolver una fachada más eficaz con un espesor escaso.”* (Paricio; Pardal, 2007) El gran reto ahora es entender el balance energético de este tipo de cerramiento complejo. Es muy importante definir claramente cuáles son las funciones que debe satisfacer el conjunto **hoja interior - cámara - hoja exterior** y, en base a ellas, diseñar la mejor solución.

Es importante subrayar que en climas cálidos el paso del calor se hace desde el exterior hacia el interior, camino distinto a los climas fríos. Cuestión que no puede ser olvidada en este trabajo de investigación.

Una evaluación muy común en los climas fríos es que la fachada ventilada se considera más eficaz para solucionar el aislamiento térmico del edificio, pues la disposición en continuo del aislante abrigando la hoja interior y protegiendo los cantos de forjado, minimiza los indeseables puentes térmicos, reduciendo con ello los problemas de condensación y mejorando el comportamiento térmico e higrométrico del

edificio. En los climas cálidos el problema tiene otro enfoque, no dejar entrar el calor, principalmente aquel producido por la radiación solar incidente.

Un edificio es un sistema termodinámico complejo capaz de intercambiar energía térmica y masa con el entorno. La transferencia de calor a través de los cerramientos se produce a través de procesos de conducción, convección y radiación. Los fenómenos de intercambio de masa de aire a través de la envolvente del edificio se denominan procesos de infiltración y ventilación.

Al estudiar con más profundidad una fachada ventilada surge una pregunta: ¿cómo estos procesos de intercambio de calor funcionan en las distintas capas de esta fachada?

La transmisión del calor a través de un cerramiento vertical con varias capas, siendo una de ellas una cámara de aire en movimiento, pasa por varios mecanismos de intercambio de calor. Es difícil saber cuál es la contribución de cada una de las formas de transmisión de calor en el proceso.

Cuanto mayor es la diferencia de temperatura entre interior y exterior mayor es el flujo de calor de la zona más cálida hacia la más fría, buscando que el sistema esté equilibrado.

Para mejor entender este intercambio, el proceso ha sido dividido en cuatro etapas (calor transmitido desde el exterior hacia el interior, $T_{\text{ext}} > T_{\text{int}}$):

Etapas 1: desde el exterior hacia la superficie externa del cerramiento - el cerramiento es influenciado por la radiación solar directa y reflejada por el entorno; también actúa la convección que puede ser natural o forzada, en caso de viento. Puede haber pérdidas de calor de la pieza al cielo (en el caso de climas cálidos), por la noche.

Etapas 2: cara interior de la hoja exterior hacia la cámara de aire y de la cámara de aire hacia la cara exterior de la hoja interior. En esta fase actúan la radiación y la convección (natural o forzada).

Etapas 3: desde la cara exterior hacia la cara interior de la hoja interior. Actúa básicamente la conducción por dentro del(los) material(es).

Etapas 4: desde la cara interior de la hoja interior hacia el ambiente. Actúan la radiación y la convección.

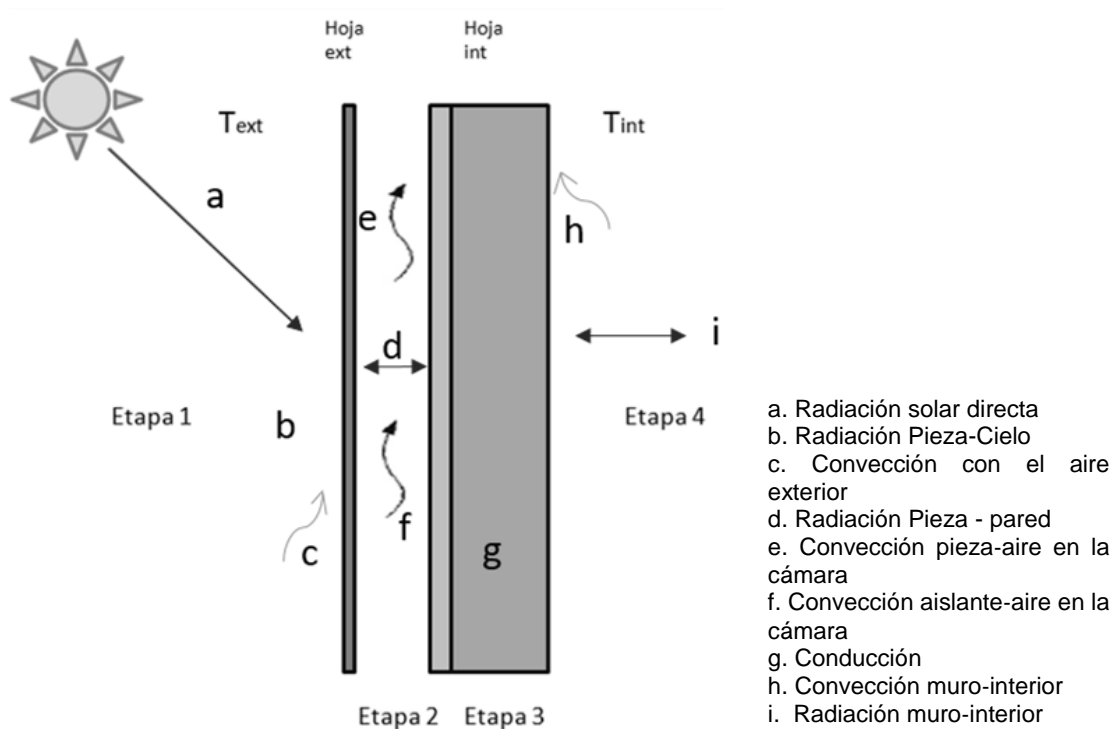


Fig. 3 Transmisión de calor en la fachada. Imagen de la autora.

En climas o estaciones cálidos, la tendencia del calor es ir desde el exterior hacia el interior, pasando por las etapas 1, 2, 3 y 4 respectivamente. En climas o estaciones frías ocurre el camino contrario. Las preocupaciones son distintas, en el primer caso el objetivo es dejar el calor fuera, y en el segundo no dejar que el calor salga. ¿Con objetivos distintos la forma de diseñar la fachada debería ser distinta?

Para mejor entendimiento del proceso de intercambio de calor, a continuación se detallará cada uno de los modelos de transmisión de calor.

1.1 Transmisión de calor en una fachada ventilada: Radiación

En la transmisión de calor por radiación la transferencia de energía térmica se da sin contacto material y puede ocurrir mismo en el vacío. En este caso, el mecanismo es la radiación electromagnética. Este estudio se limitará a la radiación electromagnética de ondas cortas que proviene del sol y la que es propagada como resultado de una diferencia de temperaturas, la radiación térmica (Holman, 1999).

La mayor fuente de radiación electromagnética captada por el planeta tierra es el sol, responsable de más del 99% de toda la radiación incidente en nuestro planeta. Esta radiación es la gran responsable por el calentamiento de los edificios en los climas

cálidos. En el capítulo sobre el clima brasileño se estudiará en detalle la radiación solar en Brasil.

En la etapa 1 de transferencia de calor es la radiación solar de onda corta (α) que calienta la superficie exterior. La cantidad de calor que entra en el edificio depende de la absorptividad (α) de la pared exterior.

- Radiación recibida por la hoja exterior

$$F_p = \frac{G_p}{G_s} = \alpha_p$$

F_p : Fracción de radiación absorbida por la pieza

G_s : radiación incidente sobre la pieza (W/m^2)

G_p : radiación absorbida por la pieza (W/m^2)

α_p : absorptividad

Todas las superficies opacas emiten energía en forma de radiación en una magnitud proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta T y de la superficie radiante A . La radiación térmica se define como la radiación electromagnética entre 10^{-1} y 10^2 μm . La tasa en la cual la energía es liberada por unidad de área (W/m^2) es conocida también como poder emisor, que es previsto por la Ley de Steffan-Boltzmann donde T_{sup} debe ser considerada en unidades absolutas (K) y σ es la constante de Steffan-Boltzmann ($\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$). (Ordenes; Lamberts; Güths, 2008)

$$Q_{\text{emitida}} = \varepsilon \sigma T_{\text{sup}}^4 A \text{ (Ley de Steffan-Boltzmann)}$$

Q_{emitida} : la emitancia superficial del cerramiento (W)

σ : cte de Steffan-Boltzmann [$\text{W/m}^2 \text{ K}^4$]

ε : emisividad del material (adimensional)

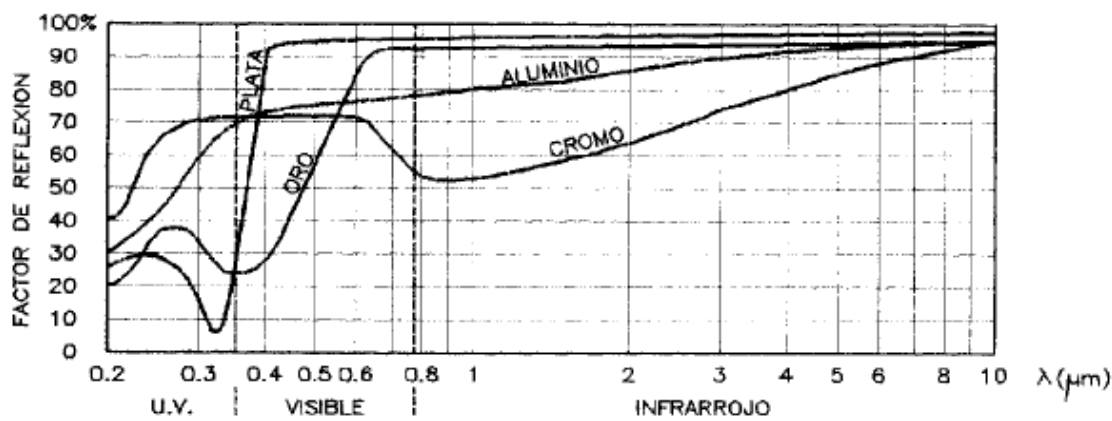
A : área del material considerado (m^2)

La emisividad (ε) es una propiedad radiante de la superficie que define una relación entre la capacidad de emisión del material comparado a un componente ideal, conocido como cuerpo negro ($0 \leq \varepsilon \leq 1$). Ella depende del tipo de material utilizado en la superficie, su acabado superficial y su color.

Un cuerpo negro ideal emite de forma continua energía de todas las longitudes de onda, siguiendo el modelo de emisión de Plank, que además demuestra que la longitud de onda dominante es proporcional a la temperatura absorbente de la superficie radiante. (Aparicio Fernández, 2010)

Además de la emisividad las propiedades superficiales absorptividad (α) y reflectividad (ρ) de los materiales pueden afectar de manera significativa su desempeño térmico, por lo que es necesario tomarlas en cuenta en el momento de su elección. Esto es especialmente importante para los materiales que conforman las capas externas de los cerramientos.

Desde el punto de vista energético, las radiaciones se reflejan en mayor o menor proporción según sea la estructura microscópica de la superficie, que concretamente significa el color (claro u oscuro) en el caso de las radiaciones visibles y también del tipo de radiación incidente, o sea de su longitud de onda. Esta propiedad de las superficies se llama reflectividad (ρ) y toma valores entre 0 a 1.



Gráfica 3. Gráfica reflexión/ longitud de onda (Serra; Coch, 2001)

Es necesario distinguir entre la radiación reflejada por una superficie y la emitida, por efecto térmico, por la misma superficie. A pesar de que el origen de la radiación emitida pueda ser el aumento de temperatura producido por una radiación previamente absorbida, esta radiación emitida no reproduce el espectro de la incidente, aunque hay una ley general que relaciona las capacidades absorbentes y las emisoras de las superficies. (Serra; Coch, 2001)

La absorción de la radiación se puede considerar, hasta cierto punto, como el complemento de la reflexión. La radiación absorbida depende de la longitud de onda y del tipo de superficie y se convierte en calor en estas superficies, lo que condiciona indirectamente su emisión de radiación térmica. Esta propiedad de absorber de las superficies se llama absorptividad (α) y toma valores entre 0 y 1. Para un cuerpo negro,

la absorptividad espectral es 1. La absorptividad superficial depende fundamentalmente del color y el acabado de los materiales. Cuanto más claro el material, menos calor absorbe.

Relación entre emisividad y absorptividad de un cuerpo.

Siguiendo la ley de Kirchoff: "el cociente entre emisividad y absorptividad es constante para cada temperatura, independientemente de la naturaleza material de la superficie considerada". Según ello las superficies absorbentes a una radiación de una longitud de onda determinada también serán buenas emisoras de dicha radiación.

Por todo ello, para analizar el comportamiento térmico de la fachada ventilada interesan el color de la hoja exterior, su acabado y su material.

1.2 El modelo de transmisión de calor por convección

La transferencia de calor por convección ocurre entre un fluido en movimiento y una superficie cuando los dos se encuentran a diferentes temperaturas. La transferencia ocurre tanto por el movimiento molecular aleatorio cuanto por el movimiento global del fluido. (Ordenes; Lamberts; Güths, 2008).

Fenómenos de convección varían de una situación a otra, dependiendo de las condiciones y propiedades de flujo del fluido. Por esta razón, la caracterización de este mecanismo se obtiene a través de relaciones empíricas partir de datos experimentales. Este enfoque se deriva de la existencia de zonas de diferentes características en el flujo. Luego, es posible definir tres regiones distintas (ASHRAE 2001):

- Zona laminar: inmediatamente adyacente al sólido en contacto con el fluido. La transferencia de calor del fluido de esta zona para la sustancia sólida es, de acuerdo con los principios para la conducción térmica, debido a dos razones: (1) la condición de velocidad cero de la capa de fluido adyacente al sólido (causado por la resistencia viscosa del fluido) ; (2) condición igualdad de temperatura entre ella y la capa adyacente (Çengel, 2002);
- Zona de transición: zona de mayor turbulencia, con una mezcla de efectos de transferencia de calor tanto por conducción como por movimiento aleatorio y macroscópico del fluido.

- Zona turbulenta: Cuando el número de Reynolds⁹ es alto, con la turbulencia total del fluido. El mecanismo de transferencia de calor dominante es la convección causada por la intensidad de movimiento turbulento del mismo.

Los factores que influyen en el mecanismo de convección son (Çengel, 2002):

- Viscosidad del fluido;
- Conductividad térmica;
- Densidad;
- Calor específico;
- Velocidad del fluido;
- Tipo de flujo (turbulento o laminar);
- Geometría y rugosidad de la superficie;

En el caso de las fachadas ventiladas interesan para su estudio: la velocidad del fluido, el tipo de flujo y la geometría y rugosidad de la superficie, puesto que las otras no cambian debido al fluido ser el aire.

El fluido transporta calor a las zonas con diferentes temperaturas generando corrientes ascendentes y descendentes del fluido. El movimiento que se produce únicamente por diferencia de temperatura, es lo que se llama convección natural o libre. Si existe una fuerza exterior que mueve el aire sobre la superficie, como el viento, se denomina convección forzada, que debido al incremento de la velocidad del aire se transmitirá una mayor cantidad de calor que en la convección natural para una determinada diferencia de temperaturas (Aparicio Fernández, 2010). Cuando las dos convecciones actúan a la vez en una cámara de aire, se denomina convección mixta. En ambos casos se expresa con la *Ley del Enfriamiento de Newton*:

⁹ Después de experimentos exhaustivos sobre la transición del flujo laminar a turbulento en la década de 1880, Osborn Reynolds descubrió que el régimen de flujo depende principalmente de la relación de las fuerzas de inercia a las fuerzas viscosas en el fluido. Esta relación se llama el número de Reynolds que es una cantidad adimensional,

$$Re = \frac{\text{Inertia forces}}{\text{Viscous}} = \frac{VL_c}{\nu} = \frac{\rho VL_c}{\mu}$$

y se expresa para el flujo externo como:

donde V es la velocidad ascendente (equivalente a la velocidad libre de corriente de una placa plana), L_c es la longitud característica de la geometría, y $\nu = \mu / \rho$ es la viscosidad cinemática del fluido.

En números de Reynolds grandes, las fuerzas de inercia, que son proporcionales a la densidad y la velocidad del fluido, son grandes en relación con las fuerzas viscosas, y por lo tanto las fuerzas viscosas no pueden prevenir las fluctuaciones aleatorias y rápidas del fluido. A números de Reynolds pequeños o moderados, sin embargo, las fuerzas viscosas son lo suficientemente grandes para suprimir estas fluctuaciones y para mantener el líquido "en línea". Por lo tanto el flujo es turbulento en el primer caso y laminar en el segundo. (Çengel, 2002)

$$Q_{cv} = h (T_{sup} - T^{\infty}) \text{ (Ley de Newton)}$$

h : coeficiente de convección [$W/m^2 \cdot K$]

T_{sup} : Temperatura de la superficie (K)

T^{∞} : Temperatura del fluido (K)

El coeficiente de convección, también llamado de *coeficiente de película*, es el nombre dado al coeficiente de transferencia de calor debido a su relación con el proceso de conducción en la delgada capa estacionaria de fluido sobre la superficie de la pared (Holman, 1999). Es una constante de proporcionalidad que resume las condiciones en las capas más próximas a la superficie, considerando la geometría de la superficie, la naturaleza del movimiento (laminar o turbulento) y propiedades del fluido (densidad, viscosidad, conductividad térmica y calor específico (Ordenes; Lamberts; Güths, 2008)).

Para los estudios del comportamiento de una fachada ventilada tomando en cuenta la convección es necesario estudiar el espesor de las juntas, el espesor de la cámara de aire, la posibilidad de entradas y salidas de aire y la rugosidad interna de la cámara.

1.3 El modelo de transmisión por conducción

La transferencia de calor por conducción está relacionada al transporte de energía térmica (calor) en un medio sólido debido al gradiente de temperatura, ocurre a través del contacto directo entre los átomos o moléculas del material. (Ordenes; Lamberts; Güths, 2008). La relación entre la velocidad de transferencia térmica por conducción y la distribución de temperaturas en el cerramiento depende de las características geométricas del mismo y de las propiedades de los materiales que lo conforman (λ , la conductividad térmica del material), reflejado en la Ley de Fourier (Aparicio Fernández, 2010):

$$\Phi = \frac{\partial Q_x}{\partial t} = -\lambda \cdot A \cdot \frac{\partial T}{\partial x}$$

Donde

$\partial Q_x / \partial t$ flujo de calor en la dirección x

A área atravesada por el flujo de calor en la dirección x,

λ constante de proporcionalidad llamada conductividad térmica del material,

$\partial T / \partial x$ gradiente de temperatura en la dirección del flujo de calor, la dirección x

T es la temperatura y

t el tiempo.

El signo menos se inserta para que se satisfaga el segundo principio de la termodinámica, es decir, el calor deberá fluir hacia menos temperatura.

La conductividad térmica es alta en metales (20 a 700 W / m K) debido a que los electrones pueden moverse libremente. Los materiales sólidos no metálicos no permiten el movimiento de electrones, sólo la vibración molecular, esto hace que su conductividad térmica este entre 0,5 y 30 W / m K. Aislantes térmicos tales como el poliuretano, se compone de material de baja conductividad térmica (~ 0,04 W / m K), por la cantidad de aire incorporado en la estructura interna.

Si el cerramiento no experimenta cambios de temperatura con el tiempo, se denomina transmisión térmica en régimen estacionario y el flujo de calor es función de la conductividad térmica de los materiales. Si no existe equilibrio, por ejemplo si las condiciones del entorno varían con el tiempo, se denomina transmisión en régimen transitorio y se caracteriza porque la temperatura en cada punto del cerramiento varía con el tiempo. Una consecuencia de la variación de temperatura en el interior del cerramiento es la acumulación de calor, que está relacionada con el calor específico de cada material.

En esta etapa de transmisión de calor, los estudios de la fachada ventilada deben tener en cuenta el espesor, la conductividad térmica y la capacidad térmica del material de las hojas interior y exterior y también la utilización o no de aislamiento térmico.

En resumen, térmicamente las funciones y requerimientos de cada una de las capas son:

Hoja exterior

Requerimientos

- Barrera a la radiación solar directa (absortividad y reflectividad)
- Propagación del calor hasta la cámara (material de la hoja y su espesor)
- Emisión de calor hacia la cámara de aire (emisividad)

Cámara de aire

Requerimientos

- Garantizar la estanqueidad al agua (mantener el aislamiento térmico)
- Evacuar el aire caliente (espesor, altura y rugosidad de la cámara; tipo de juntas; entradas y salidas del aire)
- Propagar el calor por radiación hasta la hoja interior (espesor de la cámara)

Hoja interior

Requerimientos

- Transmisión del calor hasta el interior (material y espesor de la hoja; aislamiento térmico)

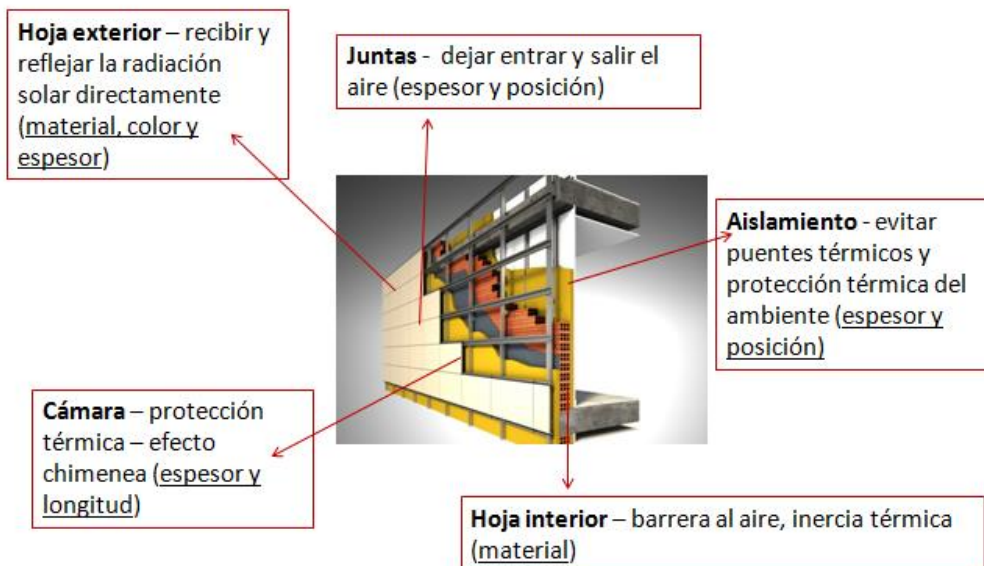


Fig. 4 Esquema de las partes fachada ventilada. Adaptado por la autora de Favenk.

2. DESCRIPCIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO: TRES MIRADAS

El origen de la fachada ventilada se encuentra en la “*Rain Screen*” inglesa, es decir un elemento creado para un clima templado y húmedo. Este sistema se compone de una fachada de doble hoja opaca que limita una cámara drenante. Según Paricio y Pardal (2014) se crea una cámara de drenaje provista de mecanismos encargados de expulsar cualquier pequeña cantidad de agua que llegue a penetrar a su interior, y a la vez, por la circulación del aire posibilite la evaporación de la humedad impregnada en el muro interior o el aislamiento térmico. La razón de ser de dicho sistema era la excesiva porosidad de los materiales - fábrica de ladrillo - utilizados en aquel momento, que con espesores reducidos y en climas muy lluviosos, eran incapaces de ofrecer resistencia a la penetración del agua.

“En España, a pesar de existir una interesantísima tradición de tabiques pluviales para resolver las medianeras – lo que sería la traducción prácticamente literal de “*Rain Screen*” -, importamos este sistema de fachada de doble hoja rebautizándolo con el nombre de Fachada Ventilada.” (PARICIO; PARDAL, 2014)

Al llegar a países más cálidos el tema de la estanqueidad parece no tener tanta importancia y en el Mediterráneo el tema térmico es el protagonista. La doble hoja crea una cámara por donde circula el aire por convección disipando el exceso de calor que haya podido sobrecalentar la hoja exterior. Este movimiento del aire puede representar una mejora en el comportamiento térmico de la fachada en verano. Es decir que si la hoja exterior originaria se podía asimilar al paraguas del edificio, en los climas mediterráneos este paraguas ha sido entendido por muchos arquitectos como una sombrilla. (Paricio; Pardal, 2014). En países como Brasil que también tienen la cultura de importación de tecnología, la idea de la sombrilla parece muy interesante y el tema térmico también parece ser el protagonista.

Esta parte de la investigación tiene como objetivo describir y analizar la fachada ventilada en este nuevo ambiente, más cálido, el Mediterráneo, que en Europa es el clima más cercano al brasileño. Mucho se puede aprender de esta experiencia. La fachada ventilada estudiada por esta tesis es esta adaptación de la idea inglesa, pero con materiales más ligeros y tecnologías más avanzadas que la idea original.

Para esta aproximación han sido elegidas tres formas de mirar el objeto:

- desde las investigaciones científicas;

- desde las empresas productoras y/o constructoras ;
- desde los edificios construidos.

La mirada hacia las investigaciones quiere entender hasta dónde se ha estudiado el tema, cuales elementos se han estudiado y qué resultados se han obtenido. Es una investigación de fuentes secundarias que objetiva saber cómo la academia ha investigado el comportamiento térmico de las fachadas ventiladas, principalmente en los climas mediterráneos, hasta los días de hoy.

La mirada hacia las empresas que producen y comercializan las fachadas ventiladas estudiará, también a partir de fuentes secundarias, los detalles ofrecidos, los materiales y todas las opciones de configuraciones con relación a aislamiento térmico, cámaras de aire, juntas, elementos que influyen en el comportamiento térmico de las fachadas que están disponibles en España. La elección de firmas españolas es debida a la facilidad de acceso a ellas, también porque están acostumbradas a proyectos en climas más cálidos y porque muchas de ellas ya están instaladas en Brasil y posiblemente serán las que construirán con fachadas ventiladas en el país.

La tercera y última mirada hacia los edificios construidos objetiva detectar cómo han sido ejecutadas las fachadas ventiladas. Serán investigados sus detalles y si estos concuerdan con que ofrecen las empresas. Este estudio ha sido realizado a partir de datos primarios colectados y analizados por la autora. Los edificios están en Barcelona y han sido estudiados por la facilidad de acceso a sus estructuras.

2.1 ¿QUÉ DICEN LAS INVESTIGACIONES?

Las investigaciones existentes sobre el comportamiento térmico de la fachada ventilada se pueden dividir en:

- descripciones teóricas del comportamiento de estas fachadas;
- experimentales, es decir mediciones que tratan de caracterizar el comportamiento térmico de la fachada de edificios construidos o modelos;
- validaciones de métodos de cálculo, donde se utilizan los datos experimentales.
- métodos de simulación en software (principalmente EnergyPlus[®], Trnsys[®] y Esp-r[®] y para simulaciones de fluidos en COMIS: Trnflow[®] y en CFD - Computational Fluid Dynamics: Fluent[®] - el más utilizado) que también son validados por mediciones.

Especialmente en España hay simulaciones con LIDER (BANNIER et al, 2012; IRULEGI GARMENDIA, 2010) y experiencias con STAR CCM+ (PEREZ et al, 2011).

- La mayor parte de información sobre fachadas ventiladas está en artículos científicos publicados por revistas indexadas, presentaciones en congresos, tesinas de máster o tesis doctorales. En este apartado la mayoría de los estudios analizados pertenece al clima Mediterráneo, pues estos casos de estudio están en un clima que más se asemeja al brasileño.

Esta revisión bibliográfica se ha centrado en la fachada ventilada opaca, o sea la que está hecha de una hoja interior, aislamiento térmico, cámara de aire y hoja exterior, hay muchos estudios sobre las fachadas de doble piel (DSF) que presentan la hoja exterior en vidrio, pero no entraran en este estudio porque los procesos de transmisión de calor en estas fachadas son distintos de la fachada ventilada opaca.

Artículos científicos

Se han revisado artículos que tratan del comportamiento térmico de la fachada ventilada opaca de las siguientes revistas científicas y congresos (2002-2015):

- Energy and Buildings, Renewable Energy, Applied Thermal Engineering, Solar Energy , Building Science, Building and Environment, Renewable and Sustainable Energy Reviews

Congresos:

- EESAP (European Conference on Energy Efficiency, Sustainability in Architecture and planning), PLEA (Passive and Low Energy Architecture), iEMSs (International Congress on Environmental Modelling and Software), IBPSA Conference - International Building Performance Simulation Association, InTEch - International Conference on Innovative Computing Technology, Qualicer, CONGRESO NACIONAL DE INGENIERÍA TERMODINÁMICA y ENTAC (Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construido).

2.1.1 Los tópicos encontrados:

- ✓ Comportamiento del aire dentro de la cámara de aire– velocidad, turbulencia, dirección, temperatura.
- ✓ Anchura y altura de la cámara de aire.

- ✓ Eficiencia energética en edificios específicos (España y Italia).
- ✓ Comparaciones para distintos climas – simulación.
- ✓ Influencias de las variables meteorológicas en su comportamiento térmico: velocidad y dirección de viento y radiación solar.
- ✓ Influencia de la orientación.
- ✓ Comportamiento nocturno.
- ✓ Mejoras en el diseño de la fachada ventilada - ventilación forzada (activa).

Una de las primeras investigadoras a cuantificar la transmisión de calor a través de la fachada ventilada es Balocco (2002), que crea una herramienta de cálculo para evaluar el comportamiento energético de diferentes tipos de fachadas ventiladas. Para simular la fachada, un estado estacionario de equilibrio energético se ha aplicado a un volumen de control en lo cual ecuaciones básicas han sido resueltas por un código de elementos finitos con un procedimiento interactivo. Para cada paso ΔX de la altura del canal, las diferentes temperaturas de la superficie e de la masa de aire son calculadas. Han sido investigados los efectos de distintos espesores de cámaras de ventilación para invierno y verano con aberturas cerradas y abiertas. Las comparaciones enseñan que se puede obtener efectos resfriadores durante el verano, cuando el espesor de la cavidad de aire es mayor que 7 cm. Para invierno el aislamiento térmico en una cavidad cerrada tiene mejor comportamiento.

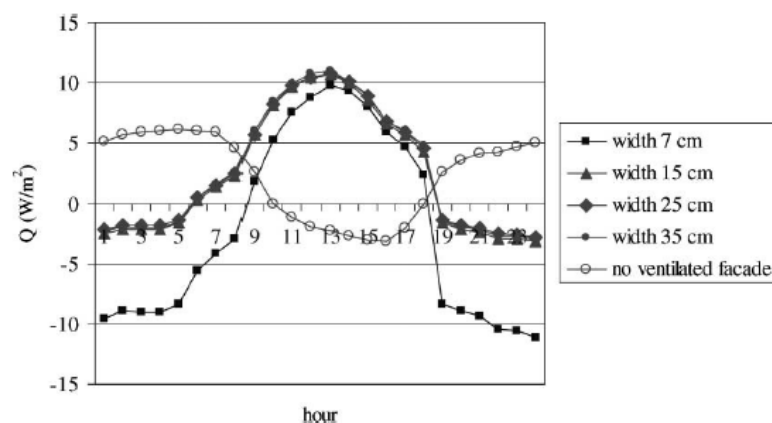


Fig. 5 Datos comparativos de espesores distintos y fachada sellada en verano. Balocco (2002),

Para la autora una fachada ventilada es un sistema multifuncional termodinámico utilizado para combinar aspectos exteriores con el comportamiento

pasivo del edificio. La cámara de aire puede estar aislada o integrada a los sistemas de ventilación calentadora y aire acondicionado (HVAC).

En este trabajo se estudió una cámara individual con convección natural al aire libre. Pero el modelo puede ser utilizado para ventilación forzada y sistemas integrados con HVAC.

El modelo sencillo creado basado en método de elementos finitos ha sido implementado en un programa de ordenador llamado 'venticalm' que ha sido validado comparando la literatura con datos experimentales. Como resultados tiene que el efecto de enfriamiento es considerable para un ancho de canal de 10-15 cm, tornándose estable para mayores dimensiones.

Ciampi et al (2003) estudia varios tipos de fachadas con distintos espesores de cámara de aire. Propone este estudio a través de un modelo matemático. Concluye que en particular, el rendimiento energético de dichas fachadas está fuertemente influenciado por la anchura del conducto de aire, la distribución del material aislante, la intensidad de la radiación solar, la resistencia térmica de la superficie de pared exterior y la rugosidad de las losas que delimitan el conducto de aire. En todos los casos, el ahorro energético aumenta a medida que los conductos de aire aumentan de ancho, y un aumento tal resulta ser particularmente marcado por el espesor de 15 centímetros.

El autor afirma que la disposición habitual de la capa aislante en el interior del conducto de aire, cerca de la pared de mampostería interior, puede no ser el más eficaz desde el punto de vista energético. Es posible encontrar una distribución óptima de material aislante entre la pared de mampostería interior y el paramento exterior que permita el máximo ahorro energético alcanzado. En todos los casos, la colocación del material aislante cerca de la pared de mampostería interior es más eficiente que uno cerca el paramento exterior.

Esta investigación también confirma que el ahorro de energía aumenta con la intensidad de la radiación solar. Las fachadas, cuando se efectúe el paramento exterior de materiales reflectantes (aceros especiales, aleaciones de titanio, etc) pueden reducir fuertemente la influencia de la radiación solar y se debe considerar como una alternativa a las fachadas ventiladas.

Por fin, el autor afirma que se necesita evaluar precisamente la resistencia de la hoja exterior y la rugosidad relativa de las losas que delimitan el conducto de aire pues influyen mucho en el ahorro energético.

En este mismo año Griffith (2003) crea un modelo numérico suponiendo que la capacidad calorífica de la hoja exterior puede despreciarse, ya que es mucho más baja

que la superficie de la masa subyacente. Esta suposición puede no servir para los sistemas de fachada que utilizan una capa exterior más masiva, tales como baldosas pesadas; el modelo no se debe utilizar para estos casos sin modificación. El autor crea un modelo de cálculo para ser utilizado en el software EnergyPlus[®] que ha sido implantado en el software y que es utilizado hasta los días actuales.

El autor afirma que son necesarios esfuerzos de investigación experimentales y de campo para caracterizar los valores de entrada apropiados para las zonas de apertura de ventilación y los coeficientes de descarga para los distintos tipos de sistemas.

Naboni (2007) ha medido experimentalmente una fachada real en Italia y después ha comparado los resultados prácticos con las simulaciones por el programa EnergyPlus[®] (utilizando el modelo de Griffith). Al final ha probado con el software un edificio ficticio en tres climas distintos de Italia. Sus conclusiones sobre los experimentos y las simulaciones son:

- El Exterior Natural Vented Cavity Module (Energyplus[®] - Griffith ,2003) puede usarse apropiadamente para simular algunos casos de fachada ventilada opaca.
- Módulo de coeficientes predeterminados por el software se pueden aplicar a otras fachadas ventiladas opacas similares a la estudiada.
- Es necesario caracterizar otros modelos de fachadas.
- La fachada ventilada puede reducir la carga de refrigeración en verano. Los principales ahorros de energía para los casos estudiados durante la temporada de refrigeración se realizan como una reducción de la energía de refrigeración en Milán 8,1% y en Palermo 7%.
- La fachada ventilada no muestra una reducción de las cargas de calefacción.
- Una válvula de cierre temporal de la cavidad podría disminuir las cargas de calefacción por ejemplo en Milán (9,5%).
- Un análisis detallado de cómo diferentes configuraciones de materiales y la geometría influye en el rendimiento térmico se deben desarrollar.
- Otros casos (no residenciales) de tipo de construcción deben ser estudiados.

Patania et al (2010) a través del estudio por CDF en Fluent[®] de tres tipologías de fachadas ventiladas concluye que el ahorro de energía aumenta:

- si la radiación solar aumenta. Por lo tanto, para un valor constante del coeficiente de absorción y la temperatura exterior T_e , la elección de la fachada ventilada es recomendable en sitios con altos valores de radiación solar I .

- el aumento de la velocidad del aire de entrada provoca la reducción de la temperatura del aire en el interior del conducto.

Los investigadores afirman que las fachadas ventiladas, durante el período de verano, logran altas tasas de ahorro de energía, por lo general por encima de 40%, en comparación con la misma fachada sin ventilación.

Una observación importante de los autores es que la eficiencia energética de este tipo de fachadas mejora cuando su capa externa tiene bajos los valores de conductividad térmica, altos valores de densidad y altos valores del calor específico. Por lo tanto, es posible afirmar que fachadas ventiladas son energéticamente más ventajosas para bajos valores de difusividad térmica de la capa externa. Esta observación tiene una gran importancia para los diseñadores. A menudo, los diseñadores eligen el revestimiento exterior de las fachadas ventiladas basados sólo en criterios estéticos ignorando la importancia que la capa de revestimiento tiene para el ahorro de energía.

Lopez et al (2012) afirma a través de un estudio experimental que la ventilación natural en la fachada ventilada depende de la diferencia de temperaturas entre el aire interior y el exterior, y de la velocidad y dirección del viento y mucho más de la intensidad de la radiación solar. En los días soleados la inducción de corrientes de aire por chimenea puede hacer que exista ventilación. Sin embargo, unas condiciones de viento desfavorables pueden hacer que esta ventilación sea insuficiente. Cuando los niveles de irradiación no son lo suficientemente altos y no se induce flujo de aire, la fachada ventilada opaca se comporta como una fachada convencional.

En otro artículo Lopez et al (2011) propone una estrategia de cuantificación de este efecto bajo ciertas condiciones utilizando para ello la modelación de la fluidodinámica computacional: CFD (Fluent®). Se ha descrito la aplicación de la resolución computacional de las ecuaciones de la mecánica de fluidos para el aire que ocupa el hueco que resulta en la fachada cerámica ventilada. Se puede cuantificar un ahorro posible 58,7% en la energía para mantener la temperatura interior constante. A través de la modelización se conoció las velocidades de aire en la cámara y su temperatura.

Para Suarez et al (2012) en estudio experimental y en CFD (FLUENT® 6.3) de un edificio en la ciudad de Madrid, en verano, la fachada ventilada de juntas abiertas orientada al sur tiene un mejor rendimiento que la fachada cerrada durante el día, reduciendo la ganancia de calor. Por la noche, en el lado sur, y durante todo el día en

la fachada norte, el flujo de aire tanto en la entrada y salida es casi inexistente, ya que las temperaturas del aire exterior y el interior son bastante similares. En el resto de las estaciones, en el lado sur durante el día, la reducción de ganancia de calor obtenida con la fachada ventilada con respecto a la fachada sellada es aún mayor, ya que la radiación solar perpendicular a la pared es mayor debido a la menor altitud solar. Por otro lado, hay pérdidas significativas de calor en la fachada norte y el sur durante la noche, porque la temperatura exterior es inferior a la temperatura ambiente interior. Las pérdidas son más o menos las mismas tanto en la fachada ventilada y como en la sellada.

Los requerimientos de energía térmica para un día típico de verano de esta fachada ventilada de juntas abiertas sur son aproximadamente 15% menos. En la fachada norte las necesidades energéticas son básicamente las mismas que la fachada sur por la noche. En suma, la energía requerida en un día típico de invierno en el lado sur es 7% menor si se utiliza una fachada ventilada de juntas abiertas. En la comparación con la energía total requerida anualmente, la fachada sellada es aproximadamente 4% mejor para la orientación norte, mientras que para la orientación sur la fachada ventilada logra un ahorro energético en torno a 9%.

La autora, así como Naboni (2007) sugiere un análisis paramétrico de espesores y propiedades térmicas de los diferentes componentes de la fachada tanto para la orientación sur, cuanto para la norte.

En el mismo artículo, Suarez et al (2011) concluye que los resultados de las simulaciones muestran que el comportamiento de ambas fachadas está fuertemente relacionado con la orientación y las condiciones climáticas. Pero, en términos generales, se puede decir que cuanto mayor es la radiación solar incidente y la temperatura del aire circundante, mayor es el ahorro de energía de la fachada ventilada de juntas abiertas. Según los autores, el patrón de flujo de aire dentro de la cavidad es completamente diferente para fachadas de juntas abiertas y selladas. Mientras que en una fachada cavidad sellada el flujo se caracteriza por un circuito de convección, en una ventilada el flujo de aire es siempre hacia arriba y su velocidad se ha encontrado alrededor de cinco veces la magnitud cavidad sellada. Además, el comportamiento de flujo es fuertemente dependiente de la posición de altura. El aire entra en la cavidad abierta por las articulaciones inferiores aumentando su velocidad y la temperatura a medida que sube. Desde el centro hasta la parte superior, el aire sale de la cavidad a través de las juntas, evacuando el calor.

Sanjuan et al (2011c) realizó un estudio de CFD (FLUENT[®]) validado por experimentación para la ciudad de Madrid. El modelo de CFD tridimensional desarrollado simuló un edificio típico con fachada ventilada de juntas abiertas y ha permitido una mejor comprensión del efecto de la ventilación inducida por la radiación solar en el espacio de aire de la fachada.

Los investigadores concluyen que la mejor actuación de la fachada ventilada con juntas abiertas en fachada sur ocurre en el período de verano. Durante las horas de radiación, 26% menos de calor se transfiere a la habitación en comparación con la fachada sellada convencional. Además, las pérdidas en la noche pueden ser consideradas como despreciables. Con respecto a la fachada norte, esta fachada se comporta ligeramente mejor durante el día y tiene sólo pequeñas diferencias en la noche.

Durante las noches de invierno, las pérdidas de calor son un 50% superior a través de la fachada ventilada para ambas orientaciones.

La energía necesaria para la calefacción y la refrigeración durante todo el día en verano es 20% más baja para la fachada ventilada en el lado sur y casi la misma en el lado norte. En invierno, por otro lado, la fachada ventilada necesita 27% más de energía en ambos lados. La suma de la energía requerida en el día típico de verano y de invierno, muestra que la fachada ventilada exige 11% menos de energía en el lado sur y un 51% más en el lado norte.

En resumen, para los investigadores la fachada ventilada tiene un buen comportamiento en los climas cálidos en la fachada sur, pero en climas fríos su rendimiento es peor que una fachada sellada.

	South façade		North façade	
Summer	OJVF	Sealed	OJVF	Sealed
Day	455	613	66	101
Night	−16	18	−16	18
Energy req.	168	210	38	39
<i>Winter</i>				
Day	108	255	−191	−114
Night	−471	−313	−471	−313
Energy req.	507	398	662	426

Tabla 1 - Transferencia de calor en días típicos (Wh/m²) . Sanjuan et al (2011c)

Stazi et al (2011) propuso un estudio experimental con el objetivo de evaluar la altura de la cámara de aire. Para tanto ha medido cámaras de aire de alturas de 6 metros y 12 metros. Ha sido probado un edificio con cámara de aire y hoja exterior

cerámica. Se ha demostrado que, en los días soleados, las temperaturas de la superficie externa, las temperaturas en la cámara de aire y la velocidad del aire en el espacio son considerablemente más altos para la pared 12 m, mientras que durante la noche las temperaturas más bajas se encuentran en las diversas capas de la pared.

Sus conclusiones son que cuanto más alta la temperatura y la velocidad del aire, mayor la turbulencia del fluido. Esto ha sido evaluado a través del cálculo del Número de Reynolds. Una fachada ventilada con mayor (más alta) cámara de ventilación y orientación sur es preferible porque tiene un mejor rendimiento en términos de valores de velocidad del aire y las tasas de flujo de aire.

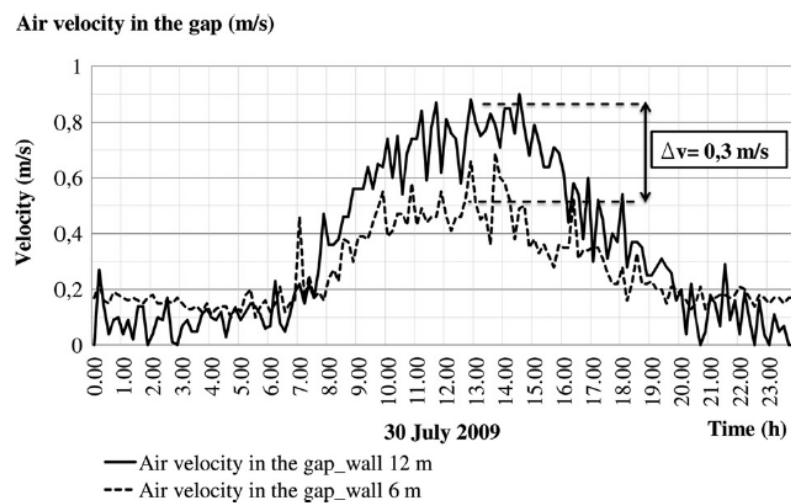


Fig. 6 Velocidad del aire en las cámaras en un día de verano . Stazi et al (2011)

Giancola (2010) en su tesis doctoral aporta una metodología de evaluación energética de fachadas ventiladas de juntas abiertas. Se han realizado medidas experimentales y simulaciones numéricas orientadas a la investigación del funcionamiento de una fachada ventilada de juntas abiertas expuesta a la radiación solar en periodo de verano y de invierno en la ciudad de Almería, España. Se han realizado simulaciones bidimensionales estacionarias y además se ha generado un modelo tridimensional. Las conclusiones del trabajo de Giancola se pueden resumir en los siguientes puntos:

- La medida de temperaturas del fluido, muestra el gradiente vertical de las temperaturas en el centro del canal, se nota que se produce un aumento de la temperatura con la altura.
- Se observa que las plaquetas no tienen inercia térmica apreciable, dato que su temperatura evoluciona de forma paralela a la temperatura ambiente.

- La evolución de las temperaturas para las plaquetas en el día tipo de invierno es mucho más parecida al esperado, dado que aumenta con el altura, además, en la cámara de aire aumenta la temperatura a medida que aumenta la temperatura exterior, aunque con valores mucho más elevados que coinciden con los valores de radiación en fachada.
- En la cámara de aire las temperaturas del fluido se bajan respecto a las de las plaquetas de casi 10° C, y como previsto en el nivel más alto del canal las temperaturas suben notablemente debido al efecto chimenea que se genera.
- En la pared interior, el hecho que las temperaturas estén siempre por encima de la temperatura ambiente, y que incluso por la noche mantengan una diferencia de temperatura notable, muestra la capacidad de acumular energía térmica en el muro, y su dificultad para cederla.

Por fin la autora sugiere que sería necesario continuar la investigación con un análisis de sensibilidad de los parámetros de diseño de una fachada ventilada de juntas abiertas que podría abrir un camino para desarrollar una guía de diseño para estos sistemas.

Esta guía de diseño debería considerar las diferentes condiciones climáticas y la época del año, para servir dentro de un contexto nacional. A través de la representación en gráficas del caudal del aire medio extraído (nocturno y diurno) en función de los parámetros que caracterizan la fachada ventilada, se podría conocer el comportamiento de una fachada ventilada de juntas abiertas de dimensiones, características y configuraciones concretas, según las diferentes topologías climatológicas consideradas.

La tesis doctoral de Irulegi (2010) se ha centrado en la integración de la Fachada Ventilada Activa en edificios de uso no residencial de altura considerable como son las oficinas. El proyecto de tesis era vinculada al Proyecto de Investigación “Fachadas Ventiladas Activas” financiado por el Plan Nacional de I+D+i del Gobierno de España y que ha finalizado en diciembre del 2.009.

La fachada estudiada es una fachada de doble piel y más concretamente como un muro parietodinámico de hoja exterior opaca en acero. El objetivo principal era cuantificar el grado de eficiencia energética que ofrece una Fachada Ventilada Activa aplicada a edificios de oficinas en España y poder estimar su validez para poder alcanzar los nuevos objetivos marcados en la DIRECTIVA 2010/31/UE.

A partir de la monitorización de un edificio en el año 2007 se concluyó que la utilización del sistema proporcionó un ahorro energético de un 8,41%.

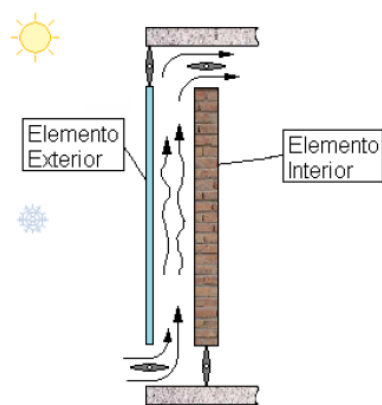


Imagen 13
Funcionamiento de muro parietodinámico.
Con necesidad de calefacción en el interior del edificio.

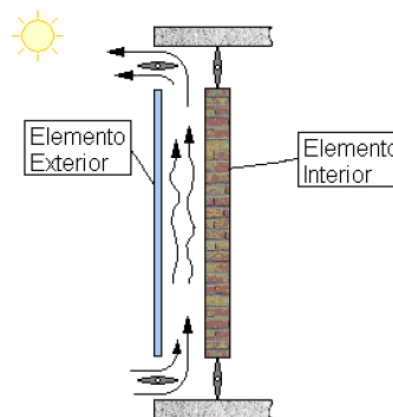


Imagen 14
Funcionamiento de muro parietodinámico.
Sin necesidad de calefacción en el interior del edificio.

Fig. 7 Efectos de la fachada ventilada activa. Irulegi (2010)

Las tipologías de edificios de oficina elegidas fueron extraídas de consultas de revistas, el periodo de consulta de dichas revistas ha sido desde el 2000-2010. A partir del material recogido se ha generado una base de datos vinculada a una aplicación informática de búsqueda multi-término denominada: “Herramienta de análisis de edificios en base a criterios constructivos y bioclimáticos aplicado a edificios de oficinas”.

A partir de esta base de datos la autora ha seleccionado “edificios tipo”:

- Tipologías de edificios de oficinas más habituales: Edificio tipo U, Edificio tipo torre con núcleo de comunicaciones en fachada, Edificio tipo torre con núcleo de comunicaciones central, Edificio tipo anillo, Edificio tipo L, Edificio tipo lineal, Edificio tipo disperso, Edificio tipo compacto. Han sido seleccionados porcentajes típicos de acristalamiento en fachadas: 30% y 60% de acristalamiento en fachada.

Estos 16 edificios tipo han sido modelizados mediante el programa LIDER® para cada una de las 12 zonas climáticas que se indican en el Código Técnico de la Edificación. A partir de estos 192 modelos se han generado automáticamente 192 “edificios de referencia” con el programa LIDER®.

La conclusión de la investigadora es que en general la utilización de la Fachada Ventilada Activa ofrece un ahorro energético en torno a un 10-20%, llegando incluso a superar el 20%.

En cuanto a la influencia del porcentaje de acristalamiento en fachada, con un 30% se obtienen mejores resultados que con un 60%. Este último caso supone, en algunos casos sobrepasar los límites establecidos en el CTE.

En cuanto a la influencia de las condiciones climáticas en la demanda energética de los edificios, la FVA se comporta mejor en zonas con climatología moderada como son Pontevedra (C1), Gerona (C2), Granada (C3) y Badajoz (C4). En climas extremos su comportamiento aumenta, en general, la demanda de calefacción en regiones muy frías y la de refrigeración en las más cálidas.

	Acristalamiento en fachada	Zonas climáticas según CTE											
		A3	A4	B3	B4	C1	C2	C3	C4	D1	D2	D3	E1
Edificio tipo U	30%									*			*
	60%		**							*			*
Edificio tipo torre con núcleo de comunicaciones en fachada	30%	**	**		**					*			*
	60%	**	**	**	**					*			*
Edificio torre con núcleo de comunicaciones central	30%	**	**							*			*
	60%	**	**		**					*			*
Edificio tipo anillo	30%	**	**							*			*
	60%									*			*
Edificio tipo L	30%	**	**							*			*
	60%	**	**		**					*	*		*
Edificio tipo lineal	30%	**	**		**					*	*		*
	60%		**							*			*
Edificio tipo disperso	30%	**	**		**					*	*		*
	60%	**	**		**					*	*		*
Edificio tipo compacto	30%		**							*			*
	60%		**		**					*			*

	Consumo energético superior al del edificio de referencia
	Hasta un 10% ahorro energético
	De un 10% a un 20% de ahorro energético
	Más de un 20% de ahorro
*	El aumento es debido al incremento de la demanda de calefacción
**	El aumento es debido al incremento de la demanda de refrigeración

Tabla 2 - Resultados de las tipologías y las zonas térmicas de España: identificación de edificios energéticamente derrochadores. Fuente: IRULEGI (2010)

Aparicio Fernández (2010) en su tesis doctoral también estudia el comportamiento térmico de fachadas con revestimiento ventilado según su orientación y su composición. Ha desarrollado un modelo (esquema matemático que permite ver la evolución de la temperatura en la cámara de aire a lo largo del día – un esquema unidireccional) que se resuelve por diferencias finitas espacio-temporales, y permite analizar con detalle los flujos de calor y temperatura en los cerramientos exteriores de edificios por condiciones ambientales reales, especialmente cuando inciden fenómenos de soleamiento e irradiación. La investigación se concreta en el desarrollo de un modelo de simulación cuyos resultados representan la historia diaria de los fenómenos térmicos en la cámara de aire y la superficie exterior del cerramiento.

La autora ha realizado trabajos de campo sobre dos edificios, con igual orientación y distintas soluciones constructivas.

Sobre los resultados afirma que la temperatura en la cámara de aire es muy alta en verano que puede llevar a un mal comportamiento de la fachada, exigiendo un mayor aislamiento térmico en la hoja interior. La autora afirma que es necesario un

estudio en profundidad para mejorar el sistema buscando mejores soluciones constructivas.

Aparicio Fernández et al (2014) en artículo publicado recientemente ha creado un modelo de un edificio con fachada ventilada usando el software TRNSYS[®], versión 17, y los parámetros de flujo de aire se simularon utilizando TRNFlow[®]. Los resultados obtenidos con el modelo son comparados y validados con datos experimentales tomados de un edificio de oficinas ubicado en Valencia (España), lo cual se ha tomado medidas durante un año. El comportamiento térmico de la hoja exterior se analizó utilizando un sensor electrónico diseñado para la lectura y almacenamiento de datos. Se analizó la distribución de la temperatura a lo largo de la cavidad de aire y se observó un efecto chimenea, que produjo el gradiente de temperatura más alta en el primer piso. Se analizó el flujo de calor de la pared externa, y temperaturas mayores se observaron en la capa externa y el interior de la cavidad. El modelo permite calcular la demanda energética de la fachada del edificio y posteriormente proponer y evaluar estrategias pasivas. El trabajo también cuenta con estudio de viabilidad de la recuperación de aire caliente en el interior de la fachada en el edificio. Los resultados obtenidos mostraron una menor demanda de calefacción cuando el aire caliente se introduce en el interior del edificio, el aumento de la eficiencia de los equipos de recuperación de calor.

Esta investigación ha sido tomada como base para el desarrollo de la presente tesis, el proceso será detallado a continuación.

Stazia, Vegliò y Di Pernaba (2014) han realizado un estudio experimental en fachadas ventiladas con revestimiento de zinc-titanio en un clima cálido mediterráneo, en Ancora, Italia. El objetivo ha sido investigar el desempeño termo-físico, verificando el efecto de los siguientes parámetros: (i) la altura del canal de ventilación; (ii) las condiciones climáticas externas (radiación solar directa, viento); (iii) la exposición a la luz solar; (iv) el tipo de recubrimiento exterior. El estudio envolvió el control simultáneo de paredes con revestimiento de zinc-titanio con cámaras de ventilación de alturas distintas (4 m, 8 m y 12 m) y diferentes exposiciones solares (sur, este y oeste). Los datos obtenidos también se compararon con las medidas en las paredes ventiladas con hoja exterior cerámica (12 m en la fachada sur). Los resultados permitieron verificar experimentalmente para las fachadas estudiadas la fuerte relación entre la diferencia interno-externo de temperatura del aire y la velocidad de flujo de aire y demostrar que, si bien la presión de viento influye fuertemente en la tasa de flujo de aire en la pared más baja, no afecta el rendimiento de las más altas. El número de Reynolds ha sido

calculado y se identificaron diferentes condiciones de flujo de aire en la cámara de ventilación. Se identificaron para cada pared estudiada la relación lineal entre la temperatura del aire exterior y la temperatura del aire en la cámara. La comparación cualitativa con las fachadas cerámicas mostró que la inercia del revestimiento influye en el tiempo en el que el efecto de chimenea se convierte en más eficaz durante la noche para los revestimientos de baja inercia y durante el día para los más masivos.

Los autores han podido demostrar que las paredes más bajas tienen una eficacia peor que las que tienen cámara de aire más alta, tanto para la columna de aire reducido cuanto porque reciben una mayor parte de la radiación reflejada con respecto a la superficie global.

Otra conclusión es que las paredes inferiores están más influenciadas por la presencia de viento y sólo en caso de alta velocidad del viento que superan el rendimiento de las que tienen cámara más alta. Se demostró que la exposición al sol tiene un impacto grande en el momento en que se produce el efecto de chimenea. El tipo de revestimiento exterior y las características de los materiales que se colocan adyacentes al canal influyen en el efecto chimenea desde el principio. A través de los resultados fue posible identificar las tendencias de velocidad en el interior de la cámara y la temperatura distribución dentro de las capas para todos los casos estudiados.

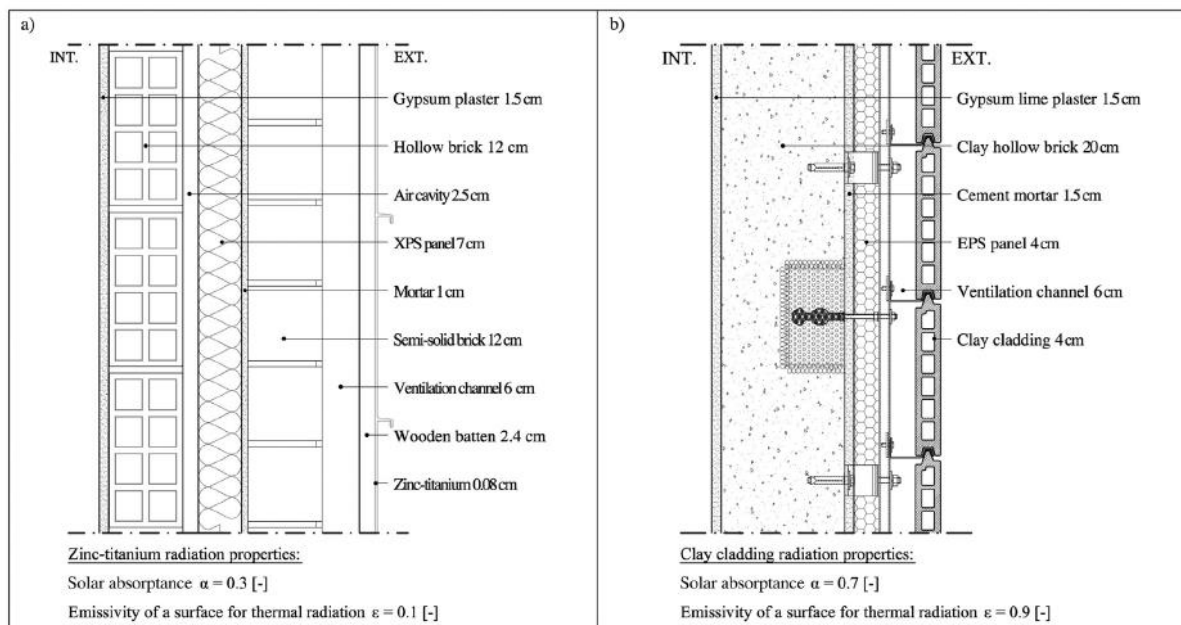


Fig. 8 Sección vertical de las fachadas estudiadas, Zinco-titanium (izquierda) y cerámica (derecha).

Fuente: Stazia, Vegliò y Di Pernaba (2014)

Marinoscia, Semprinia y Morinia (2014) han investigado experimentalmente el comportamiento térmico de una fachada ventilada en condiciones típicas de verano

mediterráneo mediante el uso de un edificio de prueba a gran escala situada en San Mauro Pascoli (Italia). El objetivo principal de este trabajo ha sido cuantificar la reducción del flujo de calor a través de la pared interna debido a la descarga de entalpía vinculada al flujo de aire establecido en la cavidad de la pared ventilada durante un día típico de verano. Los resultados experimentales concluyen que la reducción del flujo de calor está fuertemente correlacionada con el acabado exterior de la fachada ventilada, a la presencia de rejillas abiertas de ventilación y el espesor de la cavidad de aire. Con el fin de estudiar el impacto de estos distintos aspectos en las prestaciones térmicas de las fachadas ventiladas, diez configuraciones diferentes de fachada ventiladas han sido investigadas.

Los resultados experimentales ponen de manifiesto que la función de la fachada ventilada para reducir las cargas de verano depende de la capacidad del sistema para limitar el valor de la temperatura dentro de la cavidad y esto se puede conseguir mediante la reducción de las pérdidas de presión a lo largo de la cavidad con el fin de aumentar la tasa de flujo de aire y reduciendo al mínimo la contribución de radiación de onda larga dentro de la cavidad.

Abajo los resultados en números (desde el peor hasta el mejor):

Configuración	Rejillas de ventilación	Juntas	Acabado exterior	Material exterior	$\Delta TL(\%)$
FW-24d	Competamente cerrada	Abiertas	Oscuro	Piedra	0
DS-10d	Parcialmente abierta	Abiertas	Oscuro	Aluminio	14.6
DW-10b	Parcialmente abierta	Abiertas	Claro	Piedra	33
CW-24d	Completamente abierta	Abiertas	Oscuro	Piedra	34
CS-10b	Completamente abierta	Abiertas	Claro	Aluminio	38.7
ES- 24b	Parcialmente abierta	Cerradas	Claro	Piedra	52.4
BW-24b	Completamente abierta	Cerradas	Claro	Piedra	57.1
BS- 10b	Completamente abierta	Cerradas	Claro	Piedra	58

Tabla 3 - Tabla de resultados. Fuente: Marinoscia, Semprinia y Morinia (2014)

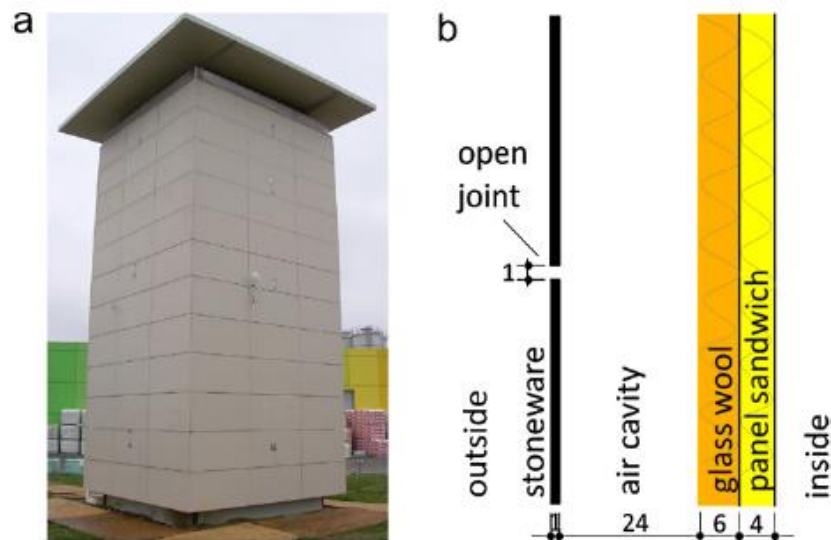


Fig. 9 Prototipo utilizado para las mediciones y detalle de la fachada. Fuente: Marinoscia, Semprinia y Morinia (2014)

Ejemplos de configuraciones y el ahorro alcanzado (con relación a F):

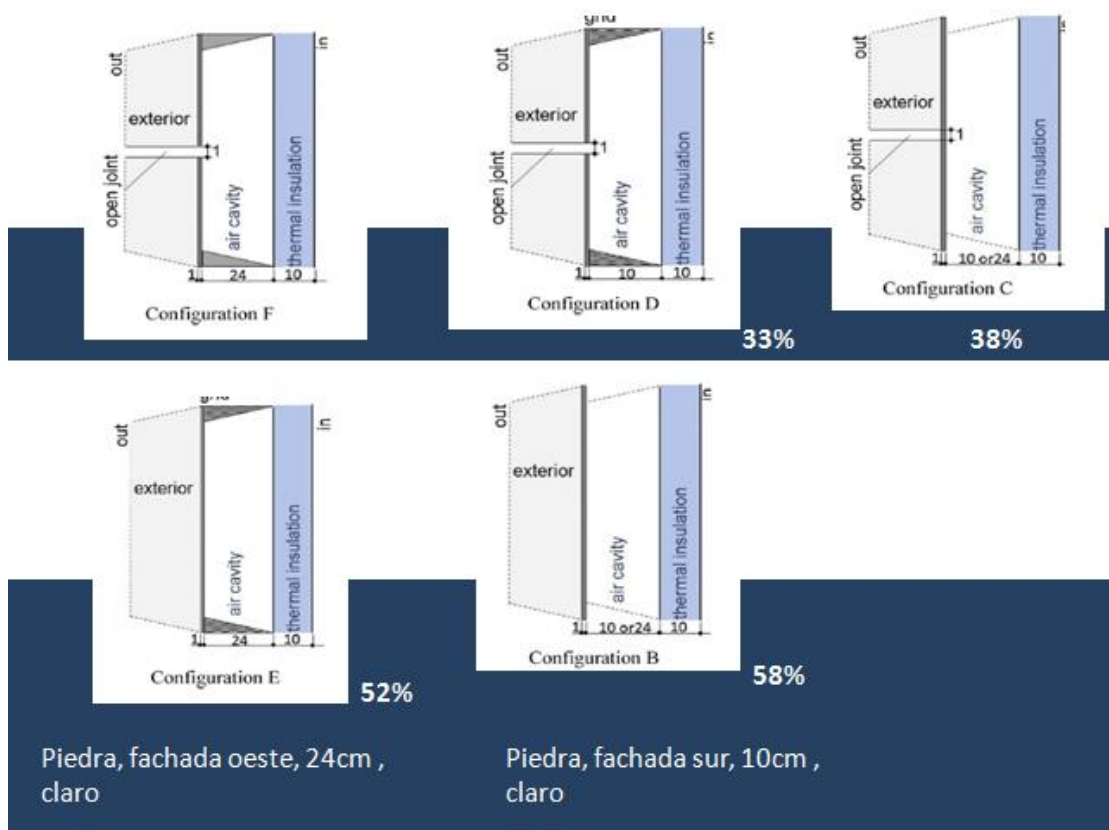


Fig. 10 Configuraciones distintas y los resultados de ahorro energético. Fuente: Marinoscia, Semprinia y Morinia (2014)

Conclusiones de esta investigación:

- (A) El papel de la piel exterior hecha de revestimiento de piedra ha evidenciado el mejor rendimiento si se compara con las placas de aluminio. Esto se debe

principalmente a la diferente inercia térmica y la resistencia térmica de estas dos capas.

- (B) Los resultados indican que el uso de un acabado exterior con un valor bajo del coeficiente de absorción solar es beneficiosa para reducir las cargas de verano.
- (C) Los resultados pusieron en evidencia que la presencia de juntas abiertas en la fachada disminuye la capacidad de reducción de la carga térmica de las fachadas ventiladas durante el verano. El efecto chimenea dentro de la cavidad de aire es mayor y sin juntas abiertas.
- (D) Los mejores rendimientos se alcanzan cuando las pérdidas de presión a lo largo de la cavidad son más bajos; por esta razón, la combinación de las rejillas en los extremos de la cavidad de aire y los valores más bajos de espesor cámara de aire se debe evitar en el diseño de fachadas ventiladas. Las aberturas deberían estar desobstruidas.
- (E) A fin de reducir las pérdidas de presión a lo largo de la cavidad el espesor no puede ser demasiado reducido. Espesores de la cavidad de aire del orden de 10-24 cm han evidenciado actuaciones similares en condiciones similares.
- (F) Orientación de la fachada Sur u Oeste han evidenciado actuaciones similares durante estas pruebas.

Lopez y Santiago (2015) han realizado un estudio de sensibilidad en una fachada ventilada opaca en invierno en diferentes zonas de España. Los estudios han sido realizados a partir de un modelo validado con datos experimentales en Trnsys. Han sido comparadas fachadas ventiladas y fachadas convencionales.

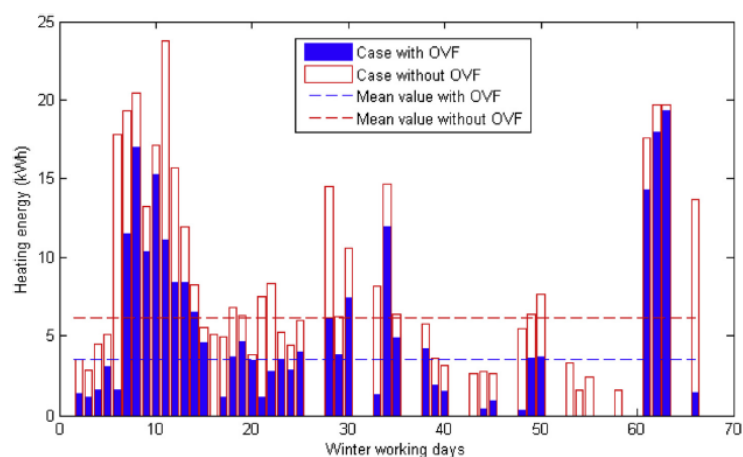


Fig. 11 - Ejemplo de la demanda energética para la zona climática B4. Se puede observar que la demanda de la fachada ventilada es menor que convencional. Los resultados muestran que instalar una fachada ventilada implica en un ahorro energético de 43%. Fuente: Lopez y Santiago (2015)

En este estudio han sido evaluados los efectos combinados de las variables meteorológicas en el rendimiento de una fachada ventilada en un edificio de oficinas durante la temporada de invierno. Con los resultados obtenidos se llevó a cabo un estudio sobre los mejores lugares de España para instalar una fachada ventilada. Las principales conclusiones de este trabajo han sido las siguientes:

- La variable climática de mayor influencia en la demanda de calor ha sido la radiación solar incidente. Una combinación de altas temperaturas y bajas velocidades de viento también puede conducir a importantes valores de ahorro energético. El ahorro de energía ha aumentado conforme la radiación solar y la temperatura del aire ambiente aumentaron. El efecto combinado más influyente era la de la radiación solar y la temperatura ambiente.
- El ahorro de energía en el invierno resultó ser positivo para todas las ubicaciones simuladas en España.
- Se encontró que los lugares más convenientes para la instalación de fachadas ventiladas fueron aquellos con climas de invierno de severidad baja y media, es decir, en las regiones del sur y de la costa de España (zonas A3, B3, B4, C3 y C4). Ellos corresponden con aquellos con los niveles más altos de radiación solar.

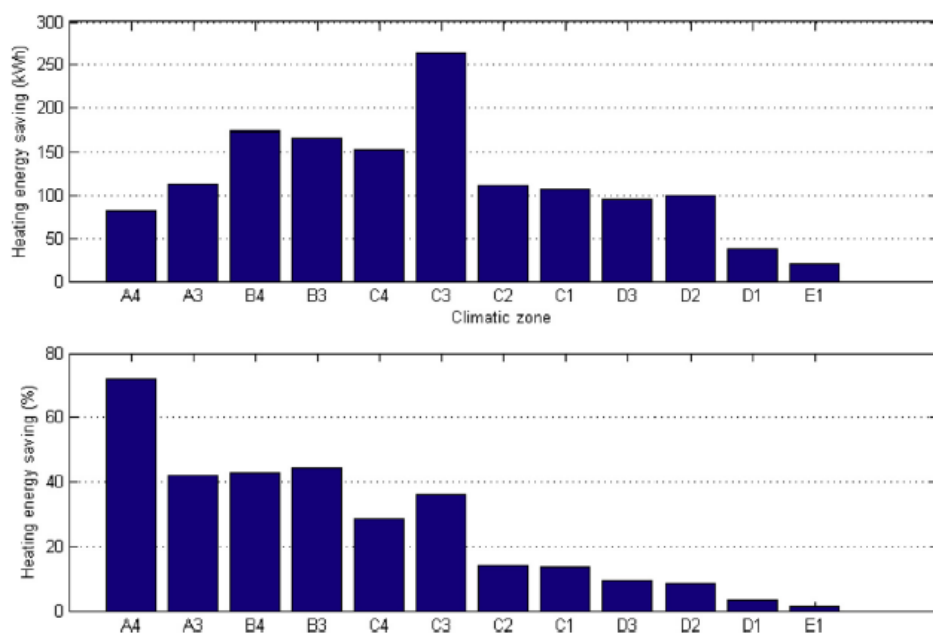


Fig. 12 Ahorro energético en las diferentes zonas climáticas de España. Fuente:Lopez y Santiago (2015)

2.1.2 Estudios en Brasil

En Brasil se han desarrollado hasta los días de hoy: tres tesis doctorales sobre la implantación de las fachadas ventiladas: Siqueira Júnior (2003) y Oliveira (2009) y Müller,A.(2003). Únicamente la última habla del comportamiento térmico.

Barth (2001) ha sido uno de los primeros a investigar la fachada ventilada en Brasil. Él realizó una investigación con el objetivo de evaluar la temperatura y humedad de una fachada ventilada en verano. Se ha construido un prototipo de madera, con dos habitaciones de 3x4x2.8m. Las dos habitaciones se encontraban orientadas a Oeste. Posteriormente se ha añadido dos hojas exteriores, también en madera de 2mm de modo a obtener una cámara de aire entre las dos hojas de 7cm. En la fachada externa de una de las habitaciones (A) se hicieron aberturas de 25mm de forma a permitir la ventilación de la cámara. La otra fachada ha sido mantenida sin ventilación para actuar como elemento de control. Han sido evaluadas 4 tipos de fachadas:

- fachada simples;
- fachada doble no ventilada;
- fachada doble poco ventilada;
- fachada doble muy ventilada.

Los resultados evidencian que en verano, la cámara muy ventilada es la que presenta mejor comportamiento térmico. La temperatura en el interior de la cámara disminuye en cuanto la intensidad de la ventilación aumenta. La cámara actúa como un acumulador de calor causando retraso en el flujo de calor. En otro estudio realizado por Barth e Grilo (2002) el comportamiento de este prototipo ha sido evaluado en invierno con el objetivo de verificar si este tipo de fachada perjudicaría el comportamiento del edificio en esta estación, especialmente en las noches más frías.

Los resultados permitieron concluir que la utilización de una fachada doble poco ventilada permite que las temperaturas en el interior sean 3°C superiores a temperaturas de exterior.

Los resultados de ambos estudios han mostrado que la duplicación de la pared interior ha contribuido para mejorar el rendimiento térmico de la fachada.

Müller (2003) ha investigado las conexiones de paneles de un prototipo de fachada ventilada, así como su comportamiento térmico. El panel del prototipo ha sido ejecutado en Tijucas, SC, cerca de Florianópolis - latitud 27°03'S, longitud 48°45'W). Este panel no presentaba aislamiento térmico, como es común en Brasil.

En cuanto al comportamiento térmico del panel ventilado con los extremos superior e inferior de la cámara abiertos, en 24 horas de un día soleado, las ganancias de calor eran aproximadamente un 47% inferiores que la fachada convencional (ladrillo revocado) y un 31% menores en un día de cielo nublado. Ha sido posible identificar que el retraso térmico es mayor en la fachada ventilada que en el cerramiento convencional.

En un día típico de invierno con tiempo soleado, la fachada convencional ha presentado valores máximos de ganancia de calor de aproximadamente 22 W/m^2 durante 48 horas, mientras que la fachada ventilada con los extremos superior e inferior abiertos prácticamente no presentó ninguna ganancia de calor. Con cielo nublado se ha observado pérdidas de calor un 7% mayores en la fachada ventilada.

Los resultados obtenidos por simulación (régimen permanente) muestran que los valores de la relación entre los flujos de calor en la parte delantera convencional y fachada ventilada son prácticamente constante para anchuras entre 8,62 cm y 17,25 cm, también para anchos mayores, en los días de verano con un clima soleado y nublado.

Continuando los estudios de fachada en Brasil (sin relación directa con fachada ventilada), pero con énfasis en el aislamiento térmico, Westphal, Akemi y Castro (2011) han realizado una investigación sobre el uso de aislamiento térmico en los edificios en Brasil. Un total de 1.944 simulaciones paramétricas en el software EnergyPlus se llevaron a cabo en tres ciudades y zonas climáticas diferentes en Brasil (Curitiba, Brasilia y Salvador), teniendo en cuenta la variación de la relación de ventana a pared, SHGC (Solar Heat Gain Coefficient) del sistema de acristalamiento, espesor de aislamiento térmico en las paredes exteriores, el tipo de las paredes, y las densidades de carga internas.

Los resultados han confirmado que la envolvente del edificio tiene más influencia en el consumo de energía de refrigeración para la construcción de modelos con densidades de carga interiores bajas. El aislamiento térmico de las paredes exteriores tiene un impacto negativo para el clima frío brasileño, aumentando el consumo de energía para refrigeración pues evita la disipación de calor interno para el medio ambiente exterior. Pero en el clima cálido el consumo de energía para la refrigeración se puede disminuir con el aislamiento térmico de las paredes exteriores. En este caso, el ahorro de energía para el enfriamiento logrado hasta un 3,3%.

En esta línea de investigación Gregório Atem (2012) hizo simulaciones en el software Design Builder para comparar el comportamiento térmico de distintos tipos de

paredes exteriores en un clima subtropical de Brasil. En resumen ha concluido que la capacidad térmica de las paredes debe ser mediana para que el muro funcione mejor, una vez que las capacidades térmicas mayores resultaron en temperaturas más elevadas en verano y más bajas en invierno, y que el muro ligero tiene las mayores temperaturas en verano. Esto sumado a la resistencia térmica alta y bajo factor solar, resultado de la presencia del aislamiento térmico, suman los mejores resultados, es decir, añadir un poco de masa al aislamiento térmico exterior es la combinación más adecuada para este clima, mostrando las menores temperaturas operativas en verano, algunas veces quedando en la zona considerada superior por la normativa brasileña. En invierno la mejora es evidente, ya que se conserva mejor el calor con el aislante y los ambientes que tienen estos muros están siempre sobre los 18° C en invierno. Al final comparando aislamientos térmicos de 10 y 5 cm, los de 5 cm se mostraron suficientes.

Una observación importante es que el cerramiento ligero aislado tiene el peor comportamiento en verano, lo que quiere decir que este tipo de cerramiento puede atrapar el calor dentro del ambiente y que es necesario también una cierta cantidad de masa para equilibrar las pérdidas (poco a poco el calor puede salir del ambiente).

2.1.3 Conclusiones finales

- La incidencia de radiación solar aumenta el ahorro energético – luego la fachada sur (hemisferio norte) y norte (hemisferio sur) son las más adecuadas para la fachada ventilada.
- Fachadas que no reciben mucha incidencia de radiación solar (como la norte del hemisferio norte) se comportan como una fachada con cámara sellada. Hay pérdidas significativas de calor en la fachada norte y sur durante la noche (Suarez, 2012).
- El papel de la velocidad del viento dentro de la cámara es lo más difícil de ser previsto. Los valores encontrados son muy diversos y difíciles de ponerlos en una regla general.
- Aumentar la altura del canal puede aumentar la velocidad del aire. Las velocidades de aire normalmente encontradas en las cámaras son bajas (Gagliano et al ,2011).
- Falta recoger toda la información investigada y desarrollar directrices de diseño para ser utilizadas en proyectos de arquitectura;

- Los estudios son muy puntuales y muy relacionados con la física de la fachada ventilada, falta dar un paso más hacia el diseño;
- Falta comparar materiales;
- Es necesario hacer un análisis paramétrico de espesores y propiedades térmicas;
- Softwares como Energyplus[®], Trnsys[®] y ESP-r[®] pueden predecir con cierta veracidad el comportamiento de un edificio con fachada ventilada. FLUENT[®] es el software de simulación de fluidos más utilizado para la predicción de lo que ocurre en la cámara de aire (Suarez, 2011; Giancola,2010, Patania et al ,2010, Sanjuan et al, 2011, Gagliano et al, 2011).
- Hay escasa información sobre el uso de la fachada ventiladas en climas tropicales.
- Se ha investigado poco sobre el control de la ventilación de la cámara de aire en las fachadas ventiladas, tema que para las “*doble skin facades*”, es decir, la doble piel de vidrio, ya es bastante desarrollado y la discusión más avanzada.

2.2 ¿QUÉ DICEN LAS EMPRESAS?

El objetivo de este apartado es analizar comparativamente en nivel térmico las fachadas ventiladas ofrecidas por las empresas en España, investigando el material detallado fornecido por las compañías que venden y ejecutan fachadas ventiladas. El objetivo es tener una visión real y crítica sobre las distintas configuraciones de fachada ventilada, saber cómo están construidas sus partes.

Se presenta un estudio pormenorizado del material de catálogos de empresas. Han sido analizados materiales técnicos de 16 empresas con sedes o sucursales en España. En éstos hay material gráfico y técnico descriptivo dónde ha sido posible estudiar cómo son las fachadas y sus componentes.

Descripción del estudio:

- Tabla comparativa de los componentes (principalmente los que influyen en el comportamiento térmico)
- Descripción del material analizado de las empresas: catálogos, manuales, prontuarios de los propios fabricantes
- Análisis de las partes - Evaluación de los detalles (dibujos)
- Conclusiones

Empresas investigadas:

Euronit (Etex)

Frontek (Grupo Greco Gres International)

Butech (Grupo PORCELANOSA)

Favemanc

Hunter Douglas España

Swisspearl España (Suíça)

Ulma Architectural Solutions

Faveton (Cerámicas Casao)

Prodema

Mecanofas

Terreal España (Francesa)

Trespa España (Holandesa)

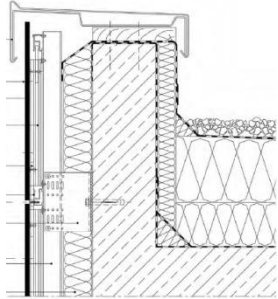


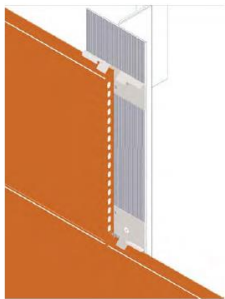
Saate

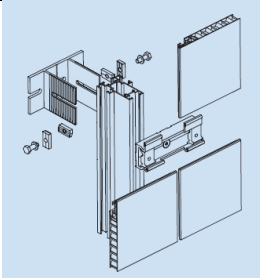
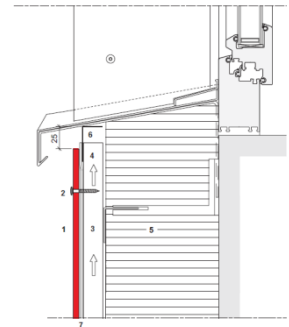
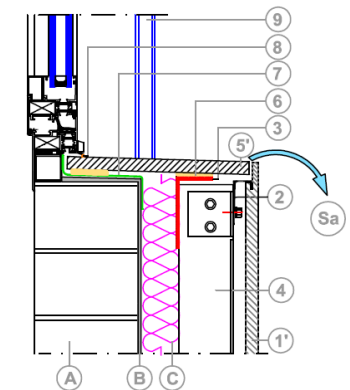

Agrob- buchtal España (Alemana)

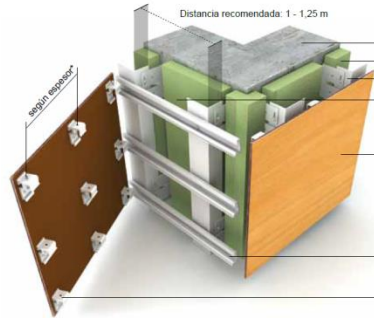
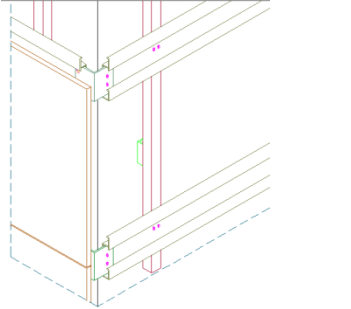

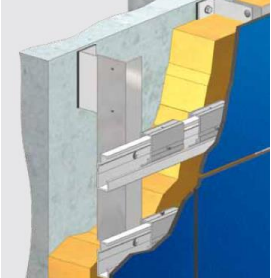
La Paloma (España)

Estas empresas han sido seleccionadas por la cantidad de material técnico que ofrecen. Han sido elegidas las que enseñan los detalles constructivos de las fachadas, los espesores, los tamaños, donde se ha podido hacer el estudio. El estudio se ha centrado en España, una vez que la tercera mirada es sobre los edificios construidos que están en este país, y así es posible confrontar las dos realidades, las empresas y los edificios.

A continuación sigue un cuadro comparativo de las características de las fachadas ofrecidas por estas empresas.

Empresa	Detalle	Hoja interior Material	Aislamiento térmico Tipo y espesor (mm)	Cámara de aire Espesor mm	Entradas y salidas de aire- arranque y coronación.	Juntas Espesor (mm)	Hoja exterior material	Hoja exterior Espesor (mm)	fijación
Euronit		Hormigón	fibra mineral 60, 80 y 120	Mínimo 20 a 30mm	Sí	10mm (h) abierta	Placas PVA	8 y 12	Subestructura Atornillado, grapas
FRONTEK		Hormigón y ladrillo cerámico	Varios	No especifica	No especifica	2a8mm (v) 6a8 (H)	Cerámica	19mm	Subestructura Grapas y guías horizontales
Butech		No especifica	No especifica	No especifica	Sí	1 (v) y 5 a 8 (h) abierta	cerámica	8 y 12	Subestructura Grapas
favemanc		No especifica	lana roca-alta densidad 50mm	≥ 30mm	Sí	≥ 4 a 6 (h y v);	cerámica	15 y 40mm (nucleo vacio)	Subestructura Grapa

Hunter Douglas		No especifica	No especifica	No especifica	Sí	10mm abiertas	Cobre , zinc, aluminio	1.4 y 2; 25mm (núcleo de panal hexagonal de aluminio e exterior aluminio)	Subestructura Grapas
Swisspearl		Ladrillo, hormigón ligeros	No especifica	25 a 100 depende de la altura edificio	Dicen que de debe tener	5 (v), 6 (h) – optimo 8mm	Fibro cemento y bituminosas	8 y 12	Subestructura Tornillos
Ulma		Ligero – aislamiento- tableto de osb+lamina impermeable+p anel hidrófugo-	100mm	Cámara +aislamiento= 82 a 132mm 46mm??	Sí	10/3mm	Placa de hormigón polimero	14/ 9mm	Subestructura Com grapa vista/guia horizontal oculta.
Faveton		Ladrillo macizo	Manta de fibra mineral 50mm/40mm	40mm – 50mm 115min c-aisl. 120mm stand 165mm max	Sí	Abiertas 10mm	Cerámica con agujeros	20/28/16/	Subestructura Grapa

Prodema		No especifica	No especifica	Min 20mm- pero CTE – 30 a 100 mm 12 a 50 mm - Neptuno	20mm inf/sup 10mm abajo y 15 mm arriba	6 a 8 mm 4 a 6mm	Chapa madera	3/6/8/10/12/ 14/16/18/20/ 22	Subestructura Tornillos y guía horizontal
Mecanofas		No especifica	30mm	60mm	Sí	Abiertas (hor- cerrada por estructura – 4mm h,v)	HPL (laminados a alta presión), piedra, porcelánico, hormigón polímero	12	Subestructura Guías horizontales que barram a ventil.
Terreal		No especifica	No especifica	≥ 20mm	Sí	(junta cerrada) 5mm a 9 mm	cerámica	15/18 hasta 40mm (con vacíos)	Subestructura Grapas y barras
Trespa		No especifica	50mm	20mm , más 50mm	Sí	10mm	placa laminada compacta de alta presión (HPL)	10-13mm	Subestructura Abrazadera con casquillo de expansión (no obstruye la junta)

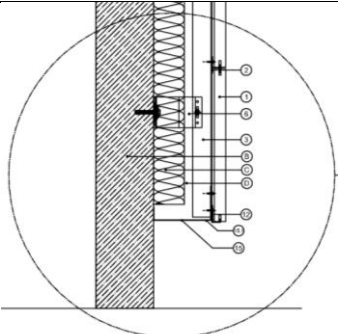
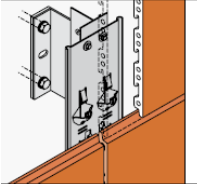
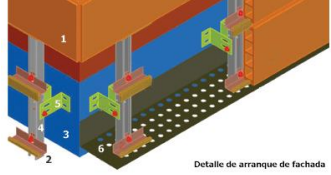
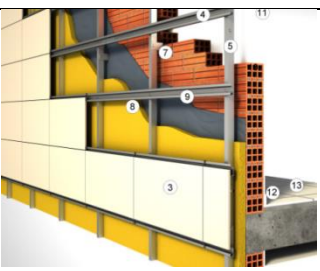
SAATE		No especifica	No especifica	Min 20mm	Sí	No especifica	Cerámica, fibrocemento o panel fenolico, piedra natural	10mm, variable	Subestructura Tornillos, adhesivo o perfil horizontal continuo.
Agrob- buchtal		No especifica	No especifica	No especifica	Sí	8mm (v) 10mm (h)	cerámica	8 y 20mm	Subestructura Grapas
La Paloma (Frontis panel)	 Detalle de arranque de fachada	Ladrillo perforado	50mm + barrera de vapor	50mm	Sí	8.5mm	cerámica	500mm (perforado)	Subestructura Anclajes puntuales-
FAVENK		1.Ladrillo 2.Ladrillo+trasdosado Fibrocemento+aislamiento Chapa metalica+aislamiento Panel sandwich+aislamiento.	No especifica	No especifica	No especifica	4 a 8 mm 4 a 10mm Muchas veces son cerradas por la estructura, solo la vertical es abierta.	Porcelanatos laminados de alta presión (HPL) y metal (Zinc, Cobre, Latón, Titanio, Aluminio, Acero inoxidable, Acero lacado Piedras Hormigón polímero	5 a 15mm 15 a 30 mm	Subestructura Guías horizontales que evitan paso de aire

Tabla 4. Relación entre empresas y materiales utilizados en sus fachadas ventiladas. Elaborado por la autora

2.2.1 Análisis de las partes

Para estudiar mejor la fachada ventilada se ha detallado cada una de las partes importantes para el comportamiento térmico del sistema: hoja interior/ aislamiento térmico/ sistema de sujeción/ cámara ventilada / juntas/ hoja exterior.

2.2.1.1 Hoja interior:

En general las empresas consideran la hoja interior ladrillo cerámico u hormigón pero afirman que es posible colgar la fachada en estructuras de metal y madera. Solamente dos empresas de las investigadas muestran opciones de hoja interior ligera.



Fig. 13 Ejemplo de hoja interior ligera.
(2014)

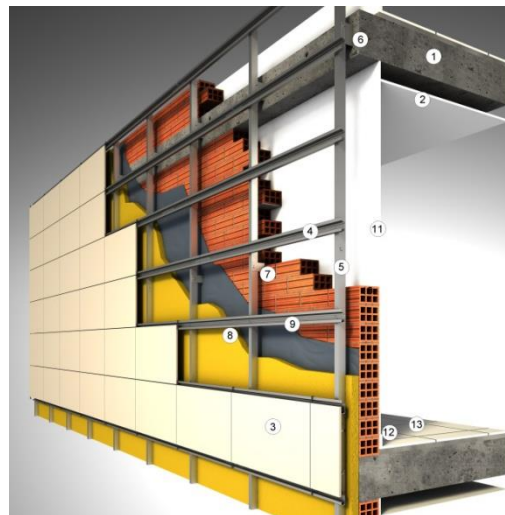


Fig. 14 Ejemplo de hoja interior pesada. Favenk
Favenk (2014)

Las características térmicas de la hoja interior no aparecen en los catálogos, ésta funciona como soporte para las empresas productoras de la fachada ventilada, su inercia y materiales no son tomadas en cuenta a la hora de enseñar el producto.

2.2.1.2 Aislamientos térmicos:

El aislamiento térmico en las fachadas ventiladas se hace por el exterior, pasando en frente al forjado, lo que beneficia la ruptura de los puentes térmicos.

La mayor parte de las empresas estudiadas no especifica el material del aislamiento térmico, las que lo hacen, sugieren lanas minerales en sus

especificaciones. Según, Bobadilla (2007) el poliuretano in situ, es el más utilizado en el mercado, cerca de 95% y la lana de roca impermeable, copa el resto.

Las lanas minerales se clasifican como incombustible al fuego (A2,s1,d0) cumpliendo con todos los requerimientos a fuego que establece el Código Técnico de la Edificación en su Documento Básico de Seguridad en caso de Incendio. No obstante su mayor precio y requerir una superficie lisa para poder fijarla obliga a efectuar un enfoscado en soportes de piezas cerámicas o bloques de mortero, empeorando la comparación desde la óptica económica. El poliuretano se clasifica como B-s2,d0, que también cumple los requerimientos del CTE, pero en el proyecto hay que hacer particiones en la cámara con barreras corta fuego para evitar la propagación de incendios. Este detalle influye en el comportamiento del aire dentro de la cámara ventilada, así tiene menos posibilidades de alcanzar mayores velocidades.

EUROCLASES					
Contribución energética al fuego		Opacidad del humo		Gotas de fuego	
A1	Incombustible	No necesita ensayo		No necesita ensayo	
A2	Contribución energética imperceptible	s1	Escasa y lenta opacidad	d0	No se producen gotas inflamadas
B	Potencial energético casi imperceptible	s2	Opacidad media	d1	Gotas de duración inferior a 10 segundos
C	Potencial energético bajo	s3	Elevada y rápida opacidad	d2	Resto de casos
D	Potencial energético medio				
E	Potencial energético alto	No ensayado		Sin indicación o d2	
F	Sin determinar características o se incumplen las anteriores.				

Fig. 15 - Clases de incendio . Fuente: Ursa.es (2014)



Fig. 16 Ejemplo de barrera cortafuegos Ursa.es (2014)

El espesor del aislamiento térmico ofrecido varía de 30 a 120mm. Eso ocurre porque depende de la región donde se localiza el proyecto y de la transmitancia

térmica (U) necesaria para cumplimiento de la normativa o requerimientos de eficiencia energética pretendida. Un valor de espesor que se repite es 50 mm, algunas empresas especifican este espesor como estándar. Analizando las distintas zonas térmicas de España, por ejemplo para un aislante con conductividad de 0,028 w/mK, los espesores varían de 30 mm a 50 mm desde la zona más cálida (Malaga-A3- $U_{fachada}=0,94$) hasta la zona más fría (Burgos- E1 $U_{fachada}=0,57$).

Una observación importante es que cuanto más espesor tiene el aislamiento térmico, menor el espacio para la cámara de aire, una vez que no se varía mucho la distancia entre la hoja exterior y la interior.

2.2.1.3 Sistema de sujeción :

La forma de fijación y anclaje de la hoja exterior condiciona un factor importante: la entrada de aire en la cámara y su consecuente paso a lo largo de la fachada. Hay varias formas de sujetar esta hoja, algunas de ellas bloquean las juntas horizontales, disminuyendo la cantidad de aire entrante.

La fijación de la hoja exterior se hace de dos maneras: puntual o con una subestructura (perfiles, grapas-vistas u ocultas, tornillos). Todas las empresas estudiadas utilizan subestructura.

El proceso de instalación de las fachadas ventiladas es similar en todas las empresas estudiadas, utilizándose de una pared base (hoja interior):

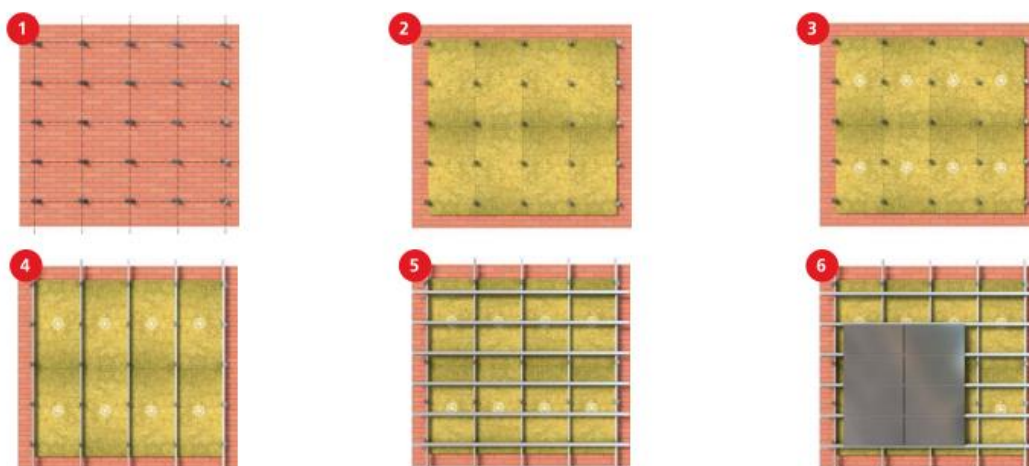


Fig. 17 Instalación de la fachada ventilada. Fuente: Rockwool.es (2014)

1. Fijación de las ménsulas de soporte

2. Colocación del aislamiento térmico
3. Fijación mecánica del aislamiento térmico
4. Anclaje de los perfiles verticales
5. Perfiles horizontales (cuando es el caso)
6. Fijación de las piezas

La subestructura puede ser de varios tipos, en general es compuesta de: ménsulas de sustentación, perfiles horizontales y verticales. Las subestructuras donde la hoja exterior es fijada por grapas dejan las juntas abiertas, por otro lado las subestructuras donde éstas están fijadas por perfiles horizontales, no hay posibilidad de entrada de aire por la junta.

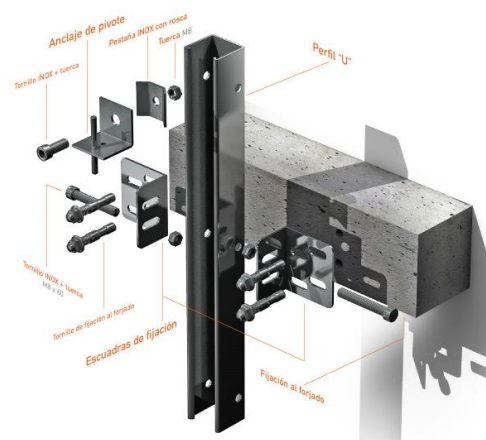


Fig. 18 Ejemplo de sujeción de fachada ventilada con perfil vertical. Fuente: Gutterkel (2014)

Abajo siguen ejemplos de subestructura con guías horizontales que impiden el paso del aire por la junta horizontal.



Fig. 19 Subestructuras con guía horizontales
Frontek (2014)

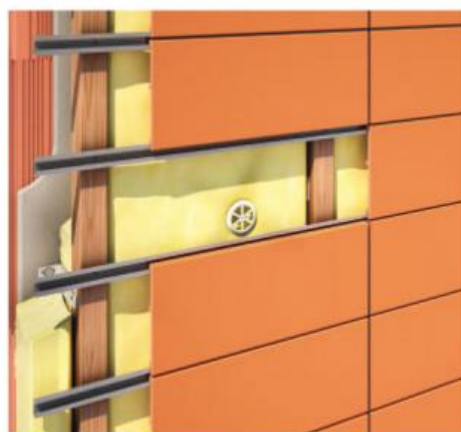


Fig. 20 Subestructuras con guía horizontales
Terreal (2014)

Abajo se muestran grapas que dejan las juntas horizontales libres.



Fig. 21 Juntas abiertas
Frontek (2014)

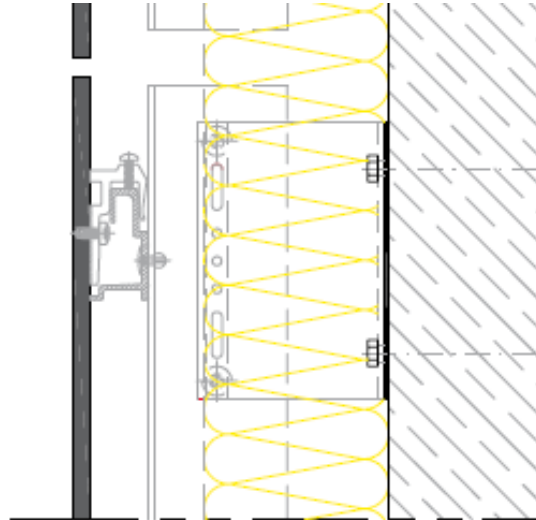


Fig. 22 Juntas abiertas
Trespa (2014)



Fig. 23 Detalle sistema de sujeción .
Terreal(2014)



Fig. 24 Detalle sistema de sujeción
Faveton (2014)



Detalle coronación con albardilla metálica



Grapa superior de coronación



Grapa de sujeción de 2 placas



Grapa de sujeción de 4 placas

Fig. 25 Detalle sistema de sujeción - Ulma (2014)

Tal como se observa, el tipo de material también condiciona el diseño del sistema de anclaje. Dependiendo del espesor y peso se va a necesitar uno u otro tipo de subestructura para su colocación. Las piezas más pesadas normalmente van ancladas en guías horizontales que obstruyen el paso del aire por las juntas.

2.2.1.4 Cámara ventilada:

El espesor de la cámara de aire encontrado varía entre 20 y 100mm. (30 mm es el límite inferior establecido por el CTE). La longitud de los anclajes del revestimiento ventilado exterior viene determinada por el espesor del aislamiento térmico y por el espesor de la cámara de aire ventilada. Los anclajes trabajan en voladizo desde el plano vertical de la hoja interior hasta el revestimiento ventilado, así, cuanto mayor espesor de aislamiento térmico y de cámara de aire, mayores serán los anclajes a colocar. Como dimensión promedio se puede establecer que la longitud de los anclajes será como mínimo entre 80-100mm, englobando el espesor del aislante térmico y la cámara de aire. Así, la dimensión total del anclaje o vástago, incluida la parte empotrada en el cerramiento, no puede ser menor de 180mm (Bobadilla, 2007).

Dependiendo del tipo de aislamiento térmico y de los anclajes, el espacio que queda para permitir el movimiento del aire es muy reducido. Además, la rugosidad de la superficie interior también afectará al movimiento del aire en su interior. Para facilitar el movimiento del aire la superficie deberá ser lisa, sin grandes rugosidades (como ocurre en ocasiones con el poliuretano proyectado).

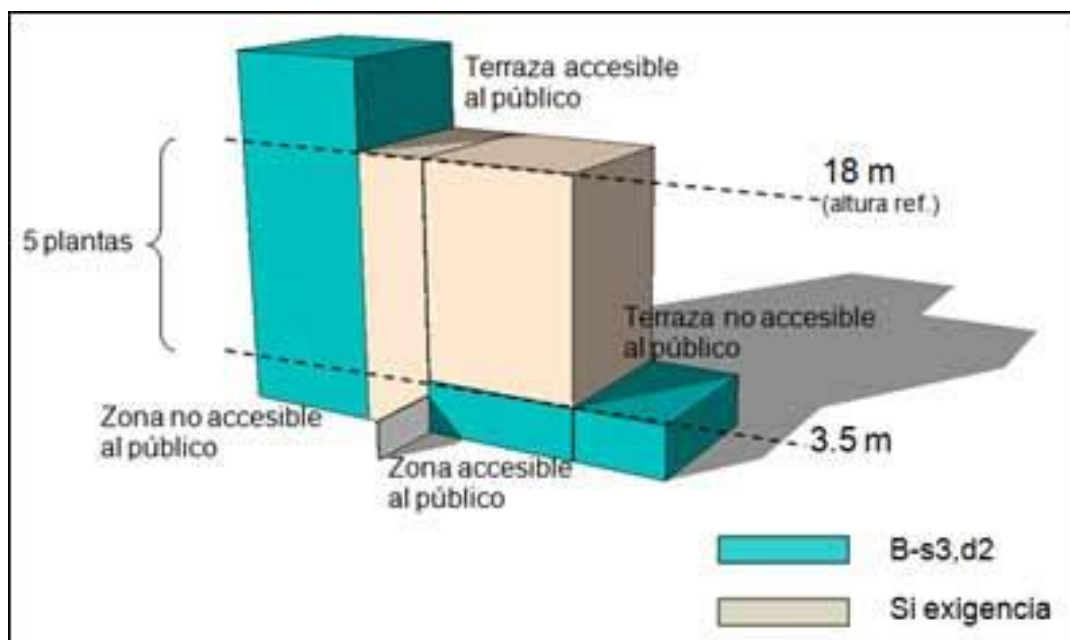
Otro punto importante son las exigencias con relación a la propagación de fuego relativas a los productos que van a ser instalados en las fachadas. Éstas vienen recogidas en la Sección 2 Propagación exterior del Documento Básico de Seguridad en caso de incendio (DB SI) del CTE (Código Técnico de Edificaciones). En este punto del CTE, la clase mínima de reacción al fuego para materiales que ocupen más del 10% de la superficie de acabado exterior de las fachadas o de las superficies interiores de las cámaras ventiladas que dichas fachadas puedan tener, será (ASOCIACIÓN NACIONAL DE FABRICANTES DE MATERIALES AISLANTES, 2016):

En fachadas con una altura inferior a 18 metros:

- La clase mínima de reacción al fuego para los materiales existentes en las cámaras ventiladas es la euroclase B-s3, d2 (lanas minerales y poliestirenos), hasta una altura de 3,5m cuando el arranque inferior sea accesible al público desde la rasante exterior o desde la cubierta. El resto de la fachada no tiene exigencia.

En fachadas con una altura superior a 18 metros:

- El requisito mínimo de la euroclase B-s3,d2 se aplica a toda su altura.
- En el caso de fachadas con cámaras ventiladas, como solución alternativa el requisito mínimo de reacción al fuego se reduce a euroclase C-s3,d2 (poliuretanos en general), si se acompaña de la instalación de barreras cortafuego con una clasificación de resistencia al fuego E30 cada 10 m de altura o tres plantas.



Resumen de las exigencias con relación a la propagación del fuego en fachadas ventiladas. Fuente: <http://itec.es/>

Así la fachada ventilada que utilice el poliuretano como aislante térmico, como mencionado anteriormente, tendrá que compartimentar la cámara de aire, lo que puede reducir los efectos del movimiento de aire y modificar de los intercambios de calor dentro de esta cámara.

2.2.1.5 Juntas:

El límite máximo de espesor de las juntas encontrado en las fachadas disponibles es 10mm. Las juntas verticales suelen ser menores que las horizontales.

Como citado anteriormente el tipo de anclaje está totalmente conectado con el tipo de junta (abierta o cerrada).

Tal como indican J. Avellaneda y I. Paricio el ancho de la junta es determinante en su comportamiento frente a la entrada de agua. En juntas de 5 mm la entrada de agua es insignificante, mientras que en juntas de 10 mm la entrada de agua puede llegar a ser abundante. En general el ancho de junta que suele utilizarse es de 6 a 8 mm por lo que se debe contar que cierta cantidad de agua penetra por la cámara. No obstante, no existe unanimidad sobre la necesidad de que las juntas sean abiertas o cerradas. (Bobadilla, 2007).

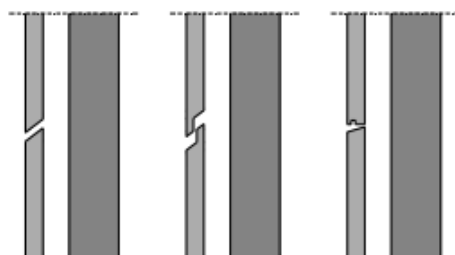


Fig. 26 Algunas configuraciones de juntas que pueden facilitar o dificultar el paso del agua. Dibujo de juntas que intentan hacer que agua escurra para fuera de la cámara. El diseño de la junta también favorece o no la entrada de agua. (Johanson & Seifert, 2003)

Es importante subrayar que: el agua entra en la cámara dado que las presiones no están igualadas entre el exterior e interior, sobre todo en condiciones de viento racheado. En zonas lluviosas este dato se debe tener en cuenta, ya que favorece la entrada de agua (este es el caso de varios climas en Brasil). Para igualar la presión una solución es compartimentar el canal y ventilar los módulos con aberturas superior e inferior, que en el caso de esta última además valen como drenaje.

2.2.1.6 Hoja exterior:

La hoja exterior es la piel del edificio, la variedad de materiales que la componen es grande: cerámica, cerámica extrudida, porcelanatos, laminados de madera, laminados de alta presión (HPL), metal (Zinc, Cobre, Latón, Titanio, Aluminio, Acero inoxidable, Acero lacado), piedras naturales, hormigón polímero, fibrocemento, panel fenolico, placas de PVA. Analizando los catálogos de las empresas se observa la predominancia de las placas cerámicas.

Los colores son variados, luego tienen distintos coeficientes de absorción solar. El espesor varía de 1,4mm para los metales hasta 500mm para cerámica con espacio de aire en su interior. La mayor parte está entre 8 y 16 mm. El acabado es un punto muy importante en la elección del tipo de fachada. El tema térmico de la hoja exterior no es tratado en estos catálogos. No hay datos de absorción solar, tampoco conductividad térmica.

2.2.1.7 Arranque y Coronación

En el material analizado, la mayoría de las empresas recomienda que se haga entradas de aire inferiores, cerca del suelo y salidas de aire superiores para facilitar el movimiento de aire en el interior de la cámara, mejorando el efecto chimenea, aumentando la velocidad del aire y drenando el agua que entra por las juntas. Sin embargo pocas ofrecen soluciones y aplican estos conceptos de arranque y coronación. Algunas veces se ven en los detalles técnicos, pero en las obras enseñadas en estos mismos catálogos no aparecen.

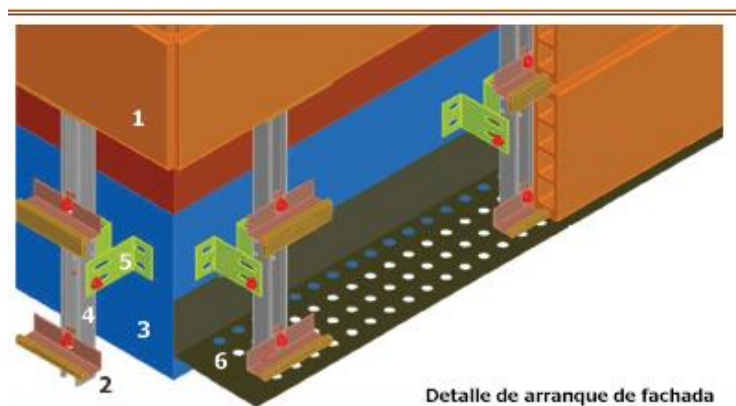


Fig. 27 Detalle arranque - La paloma (2014)

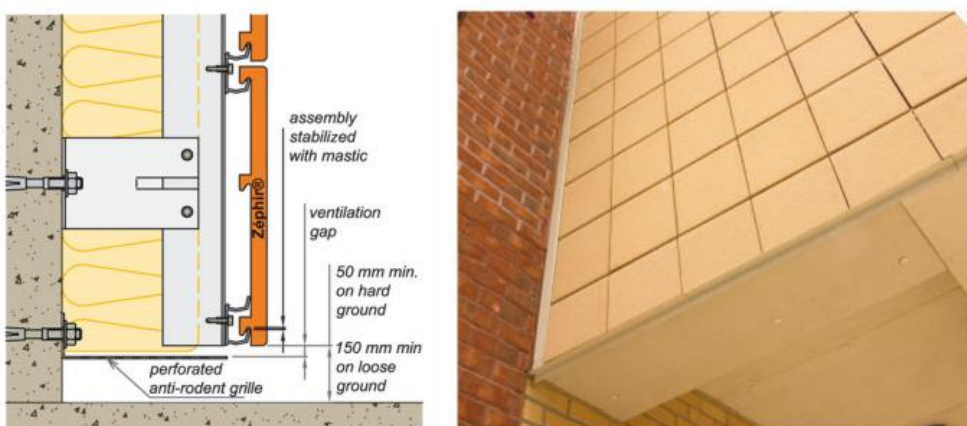
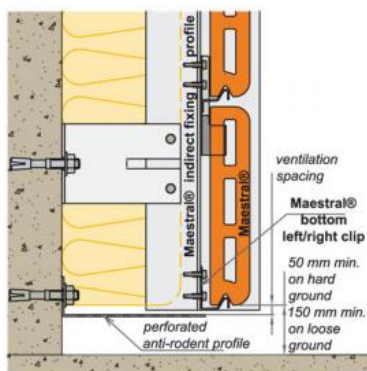
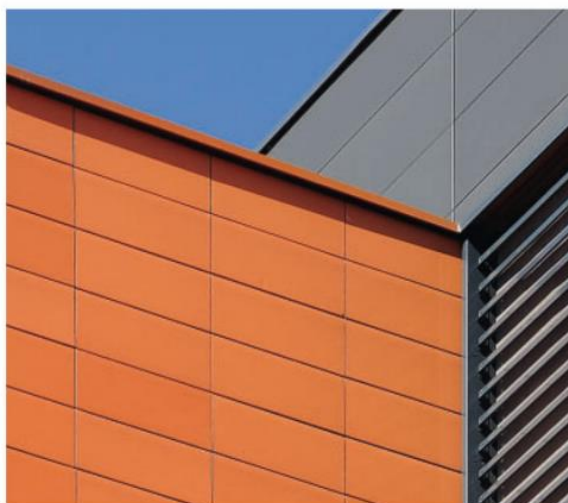
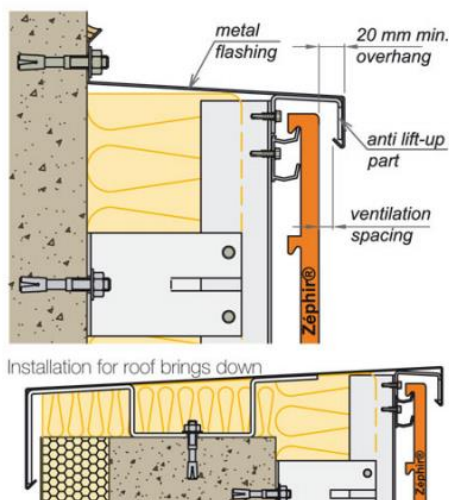


Fig. 28 Detalle del arranque y al lado un ejemplo de obra con arranque cerrado. (TERREAL, 2014)



Mathilde Private Hospital, Rouen, France - Architect: Patrick Gardais

Fig. 29 Detalle del arranque e de la obra con entrada de aire. (TERREAL, 2014)



'Clinique du Parc' Private Hospital, Lyon, France - Architect: Xanadu Architectes & Urbanistes (Iwan Ponsonnet)

Fig. 30 Detalle de la coronación y su ejecución. Poco espacio para la salida de aire. (TERREAL, 2014)

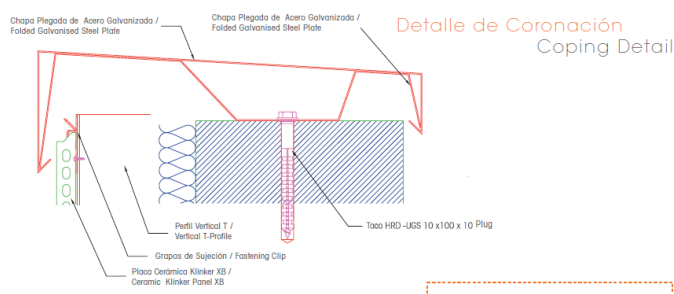
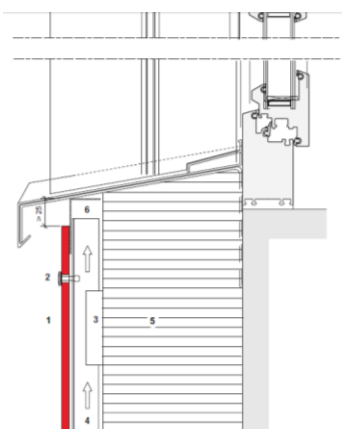


Fig. 31 Detalle Swiss Pearl (2014)

Fig 32 Coronación Prodema (poco espacio para salida de aire) (2014)

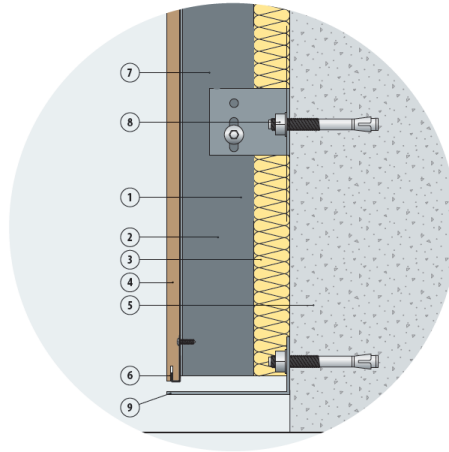


Fig. 33 Detalle arranque Butech (2014)



Fig. 34 Detalle de obra ejecutada arranque no ventilado



Fig. 35 Auditorio Centro de Investigación, arranque sin ventilación (ULMA, 2014)

Cuando no hay aperturas de ventilación, ésta ocurre solamente por las juntas, el aire entra por las inferiores y sale por las superiores. Muchas veces lo que ocurre

es que no hay entrada y salida de aire y las juntas están cerradas, haciendo con que la cámara funcione como sellada.

Las soluciones para salidas de aire en la coronación hacen muy difícil el camino para que salga el aire, dificultando la ventilación, habría que diseñar mejor esta solución.

2.3 ¿QUÉ DICEN LOS EDIFICIOS?

En esta parte del trabajo se hace un estudio cualitativo de las fachadas ventiladas construidas en Barcelona, España. El objetivo es verificar la práctica, lo existente y aprender con eso. Han sido elegidos edificios de nueva construcción, situados en su mayoría en el distrito 22@ de Barcelona, una área de renovación urbanística de una zona de la ciudad tradicionalmente industrial, el Poblenou, que trata de integrar los usos residenciales con las actividades productivas económicamente. Algunos de ellos cuentan con calificación energética “A”. Son edificios que en su concepción tuvieron la preocupación energética y de confort térmico de los usuarios.

Los edificios elegidos para este estudio cuentan con fachadas ventiladas de diferentes fabricantes y materiales. Estos edificios fueron elegidos por el material disponible para investigación y fácil acceso al edificio.

Edificios estudiados:

- Ecurban
- Edificio de viviendas Roc Boronat
- Edificio Triangle 22@
- Escuela el Tren de Fort Pienc
- Hostel Twentytu
- Edificio RBA

2.3.1 Ecurban

Arquitectura: McDonough + Partners', **Paisajismo:** Siteworks. William McDonough + Partners, Design Architect ,L35 Arquitectos, Architect of Record Siteworks,

Landscape Architect Buro Happold

Tipo de actuación: Complejo que integra uso residencial con uso comercial y turístico.

Fecha de construcción: Barcelona, 2006-09

Ecourban es un conjunto de tres edificios de uso mixto, concebido por el arquitecto estadounidense William McDonough, que defiende que es posible un nuevo concepto a la hora de diseñar, producir o construir, de forma que los edificios imiten a la naturaleza y no se utilicen materiales tóxicos ni se generen residuos. “Todos los aspectos del proyecto hablan de la necesidad de ser sensible al contexto y entorno – la ciudad, el vecindario, los espacios públicos, la movilidad y otros.” (Mcdonoughpartners, 2009)

El proyecto cubre dos tercios de una manzana de 14,000 m², situada entre las calles Sancho de Ávila, Almogàvers y Zamora, e incluye dos edificios de oficinas y un aparthotel, aparcamientos subterráneos, y unos 2.000 metros cuadrados de jardines y zonas de paseo y descanso de propiedad privada, pero de acceso público. Estos tres edificios sobresalen tras la fachada histórica de la fábrica de la Unión Metalúrgica, planta construida entre 1908 y 1914 y sede del sindicato, que se decidió mantener tras las reivindicaciones vecinales que pedían su conservación.

Así, las fachadas de los edificios se han proyectado con una orientación de 45 grados al sur para un mejor aprovechamiento de la luz y la radiación térmica solar, a la vez que hay sistemas que permiten el sombreado y la regulación de esas entradas de luz y calor solar.

Características de la fachada

Fachada utilizada: fachada ventilada cerámica FAVETON CERAM

El proyecto toma en consideración las diferencias en ganancias solares de las diferentes fachadas y trabaja de modo distinto en cada una de ellas, lo que hace por ejemplo con que el edificio esté protegido en oeste y aproveche la luz de norte. La fachada sureste es protegida por parasoles. Hay un equilibrio muy bien estudiado entre la fachada opaca y transparente en las fachadas este y oeste (esta última con más partes opacas que transparentes), lo que hace con que el papel de la fachada

ventilada sea importante, contribuyendo con las ganancias y pérdidas de energía del edificio.

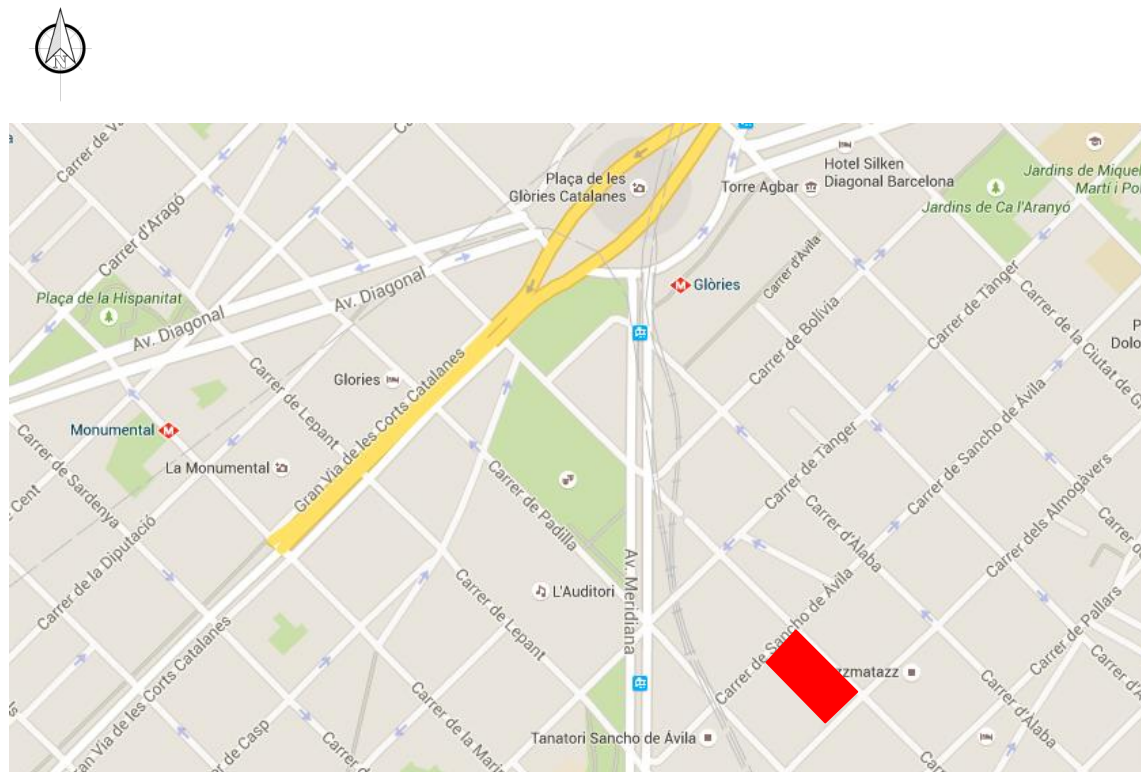


Fig. 36 Emplazamiento del edificio (adaptado de Google maps, 2014)



Fig. 37 Emplazamiento del edificio (adaptado de Google earth, 2014)



Fig. 38 Planta del edificio Fuente: http://www.l35.com/pt/proyecto.php?id_prj=128

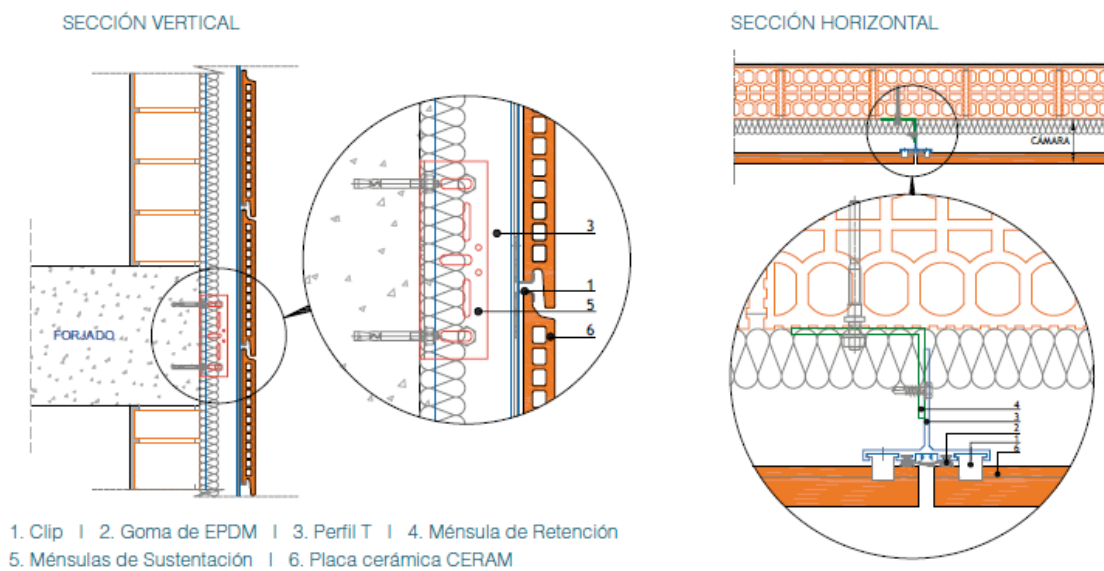


Fig. 39 Detalles de la fachada – (Catalogo Faveton)



Fig. 40 Fachadas con equilibrio de opacos y transparentes, (oeste)
<http://www.oaci.biz/en/projects-made/ecourban-22@---barcelona/?sig=10>

La fachada sureste no presenta fachada ventilada, pero las ventanas son protegidas por protecciones solares de vidrio translucido, lo que hacen que reciba calor principalmente en invierno. En la fachada norte, por otro lado, el vidrio cumple mayor papel en los intercambios de calor ya que es el mayor porcentaje de la fachada. El objetivo es captar lo máximo la luz natural de esta fachada.



Fig. 41 Fachada Sureste (protección solar sin fachada ventilada), Fachada este (fachada cerámica ventilada) Foto de la autora.



Fig. 42 Fachadas este (Metalúrgica) y sureste (con protección solar) . Foto de la autora



Fig. 43 Fachada norte (pequeña área de fachada ventilada, grande área en vidrio – mayor aprovechamiento de la iluminación natural) . Foto de la autora.



Fig. 44 Fachada norte envidriada para captación solar. Fuente:
<http://viewpictures.co.uk/Details.aspx?ID=148209&TypeID=1>



Fig. 45 Fachada Noroeste (calle, con protección solar) y oeste (sombra y ventanas más pequeñas para evitar ganancias excesivas de calor en verano). Foto de la autora.

La hoja interior es convencional de ladrillo de fábrica lo que fornece más inercia al conjunto.



Fig. 46 En la construcción se observa la hoja interior de ladrillo de fábrica y el montaje de la fachada con aislamiento térmico y el espacio de aire. Fuente: PARICIO Y PARDAL, 2007.

Las piezas cerámicas de la fachada tienen huecos interiores y su espesor es de 28mm, lo que permite una cierta inercia térmica a la hoja exterior. Las juntas tanto

verticales cuanto horizontales son de 10mm. El sistema ventilación por las juntas es a través de un sistema machihembra de las pieza cerámicas, lo que dificulta la entrada del aire. Por otro lado, este sistema impide la entrada directa de agua en la cámara, mejorando las prestaciones frente a la humedad de la fachada.

El sistema de fijación es oculto y no impide la entrada de aire.

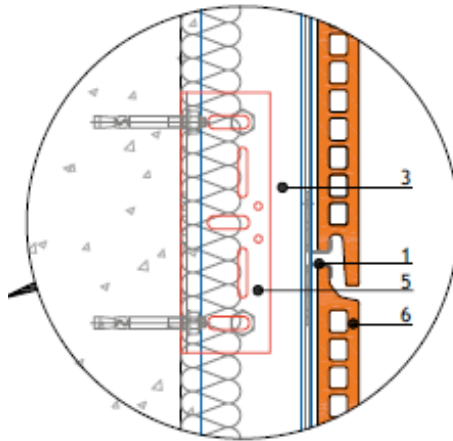


Fig. 47 Detalle de la junta machihembra (Faveton)

En el arranque de la fachada, que está en el primer piso alejado del suelo, se puede observar el detalle de la entrada de aire a través de una rejilla. Sin embargo los detalles en aluminio entre plantas del edificio parecen dificultar el paso de aire por la cámara en su longitud, luego la ventilación se hace solamente por las juntas. El movimiento del aire dentro de la cámara se hace por diferencia de temperatura. En la coronación la salida del aire es dificultada por el acabado superior, aún así es posible haber salida de aire.

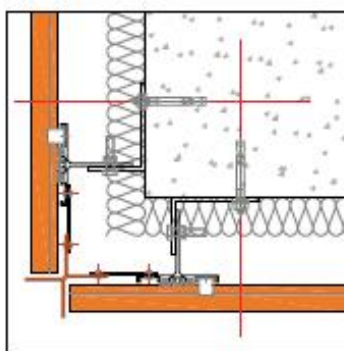


Fig. 48 Detalle de la esquina, no permite entrada de aire, ni agua

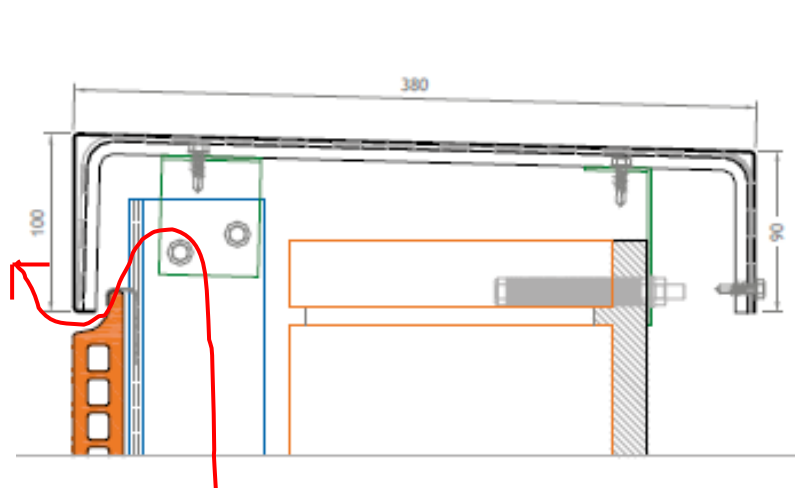


Fig. 49 Detalle de la coronación. Poco espacio de salida de aire

La salida del aire en la coronación es posible pero es dificultada por las piezas de cierre y sus espesores.



Fig. 50 Detalle del arranque en el primer piso del edificio. Foto de la autora

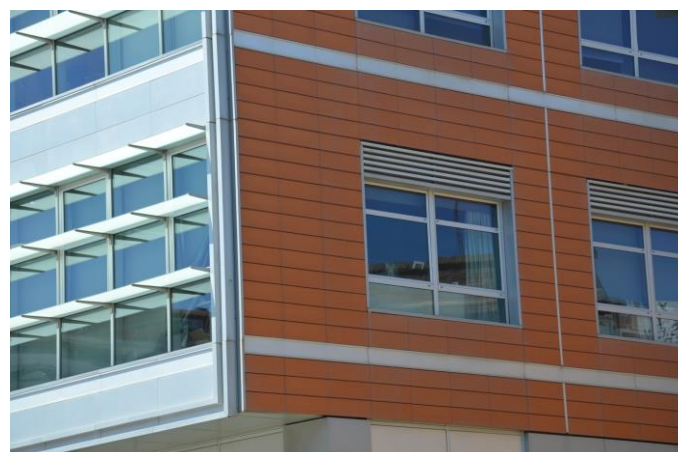


Fig. 51 Detalles de los perfiles en aluminio de la estructura que dificultan (si no impiden) el paso del aire dentro de la cámara). Foto de la autora.

Para concluir, en este edificio se puede observar que los detalles sugeridos por la empresa fabricante fueron ejecutados, tanto en la coronación, como en los arranques y otros detalles. La cámara de aire, tiene entre 10 y 12 cm, lo que posibilitaría el paso del aire. Es una fachada bien detallada y ejecutada. Quizás la inercia de la hoja exterior y su papel de protección solar sean más importantes que la cámara ventilada.

Algunos detalles como la presencia de perfiles entre las plantas dificultan el paso del aire en la cámara, la velocidad del aire podría ser mayor, si la altura de la cámara fuera mayor.

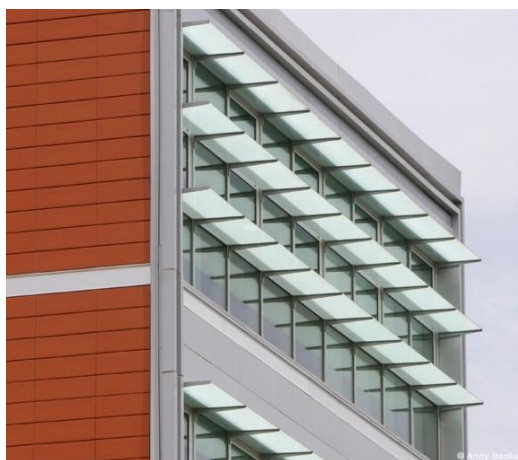
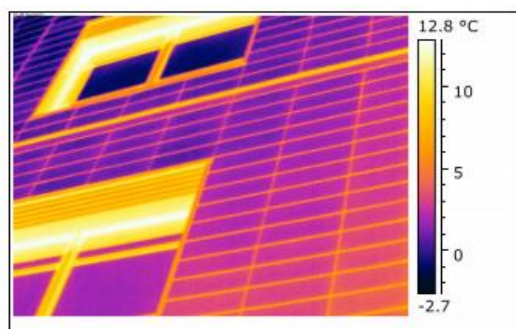


Fig. 52 Fachada Sureste. (MCDONOUGHPARTNERS, 2014)

En este estudio termográfico abajo se puede observar que las partes que más pierden calor son las juntas y las partes estructurales en aluminio. Este factor es muy importante en los climas con invierno rigurosos.



Edifici 3. Barcelona. Detall de la façana on s'aprecia una gran regularitat de la posada en obra.



Fig. 53 Termografía de la fachada de Ecurban: pérdidas de calor por las juntas y las secciones en aluminio. (http://ecoterra.org/ca/data/informe_barcelona.pdf).

2.3.2 Viviendas Roc Boronat

Arquitectura: SABATÉ ASSOCIATS SLP

Sistemas de fachadas: Fachadas y Cubiertas Ventiladas SL

Tipo de proyecto : Nueva construcción/ Edificio de viviendas de promoción pública

Año de la construcción: 24/07/2009 a 10/10/2011

Superficie útil: 10 846 m² Superficie útil

Número de unidades funcionales: 95 Viviendas

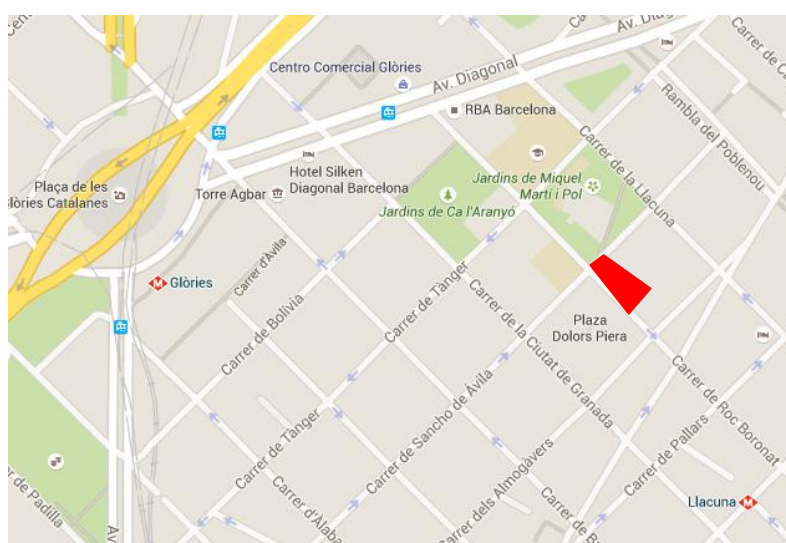


Fig. 53 Emplazamiento del edificio (adaptado de Google maps, 2014)

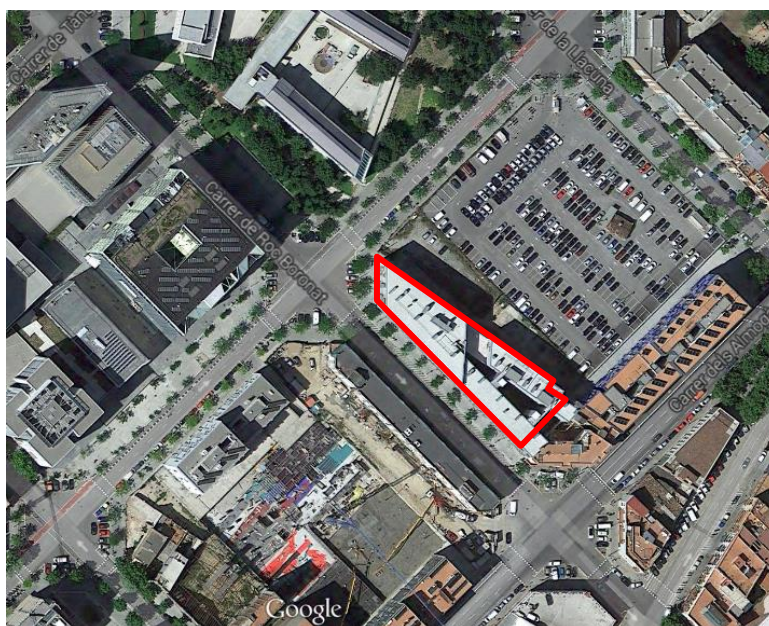


Fig. 54 Emplazamiento del edificio (adaptado de Google maps, 2014)

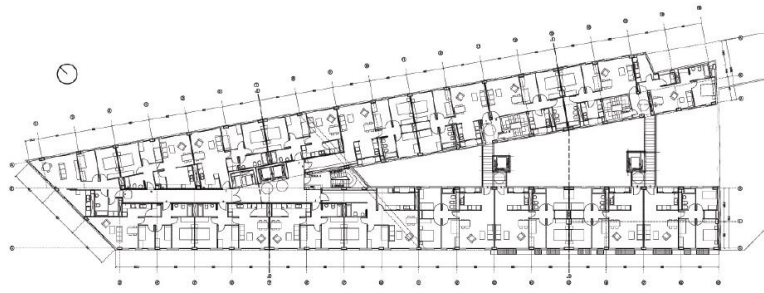


Fig. 55 Planta tipo (SABATÉ ASSOCIATS SLP, 2014)

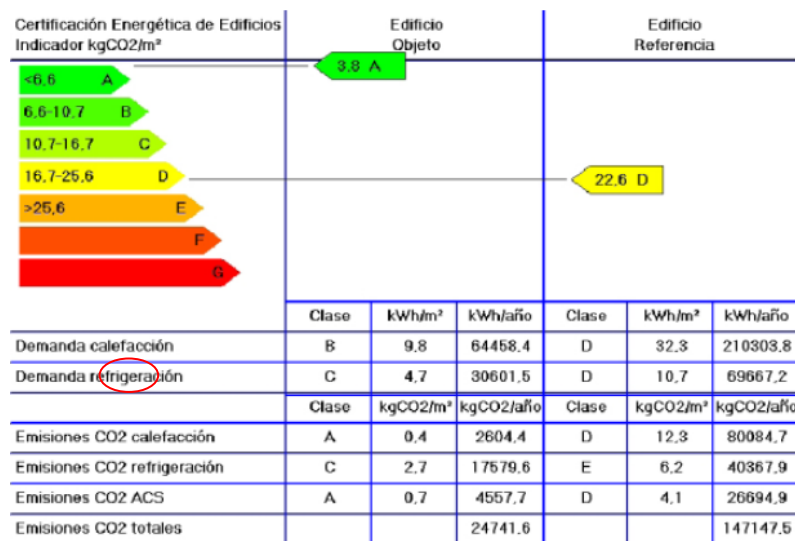


Fig. 56 Certificación Energética (Construccion21, 2013)

Consumo de energía (Construction21, 2013):

Energía primaria necesaria: 14,20 kWh PE/m²/year

Energía primaria necesaria por un edificio estándar : 86,20 kWh PE/m²/year

Método de cálculo : Real Decreto Español: 47/2007

Energía final : 7,70 kWh FE/m²/year

Sistema de calefacción : Red urbana

Sistema de agua caliente : Red urbana

Sistema de refrigeración : Sin sistema de refrigeración

Sistema de ventilación : Ventilación natural

Sistemas renovables : Recuperación de energía a partir de residuos



Fig. 57 Vista del Edificio (SABATÉ ASSOCIATS, 2014)

La promoción de viviendas en derecho de superficie situada en la calle Roc Boronat, 104, en el distrito 22@, es el primer edificio plurifamiliar acabado de Barcelona que obtiene la máxima calificación energética, según l'Institut Català de l'Energia (ICAEN), la calificación "A", sello que certifica que ha llegado al nivel máximo de eficiencia energética y la mínima emisión de CO₂. La calificación que ha obtenido el edificio de Roc Boronat tiene una validez para 10 años.

El edificio alberga 95 viviendas de protección oficial y aparcamiento, con viviendas de 2 y 3 habitaciones con superficies aproximadas de 60 y 70m² respectivamente. La superficie útil construida es de 12.414m². El edificio de 5 y 6 plantas se adapta a la forma del solar creando un patio interior donde se sitúan los núcleos de comunicación vertical.

Constructivamente el proyecto responde a un sistema de construcción pesada en la estructura y ligera en los cerramientos. Los criterios básicos de elección de materiales fueron: simplificar el número de acciones e industriales implicados, reducir los revestimientos y las pinturas, e incrementar los procesos industrializados que no presupongan una limitación en el número de proveedores.

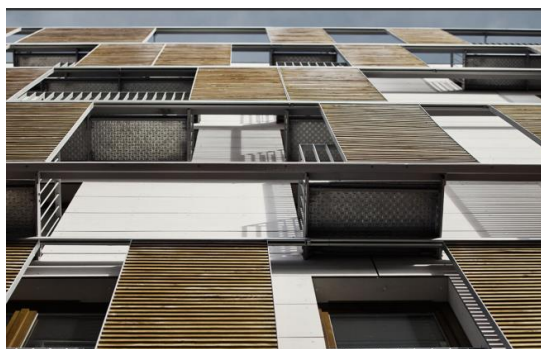


Fig. 58 Fachada externa ventilada y con protección solar (SABATÉ ASSOCIATS, 2014)

Los criterios de sostenibilidad están integrados en el proyecto. Se trata fundamentalmente de minimizar el impacto de los materiales y los procesos constructivos, de reducir el consumo energético y de agua durante la vida útil y facilitar la deconstrucción.



Fig. 59 Protección solar externa en madera. (AJUNTAMENT DE BARCELONA, 2014)

Se han usado materiales con baja energía incorporada y de fácil reciclaje: carpinterías y protecciones solares de madera certificada, fachada con paneles de cemento reforzado con fibra de celulosa, pinturas al silicato, conducciones de polipropileno en la instalación de agua y saneamiento evitando el uso de pvc.

El acabado de fachada está hecho con paneles de cemento reforzados con fibra de celulosa, que por las materias primas y el proceso industrial requiere un menor consumo de energía que otros productos alternativos y es reciclable.

Se observa la reducción de la demanda energética por el aumento del grosor del aislante térmico por la transmitancia térmica (U) ser muy baja.

Comportamiento de la envolvente (Construction21.eu, 2013):

Fachada ventilada de paneles de fibrocemento sobre un muro interior ligero de placas de cemento reforzado con fibras, 14cm aislamiento térmico, $U=0.24\text{W/m}^2\cdot\text{K}$. Carpinterías de madera, clase 4 permeabilidad al aire, $U=2.49\text{W/m}^2\cdot\text{K}$.

Se utilizan de sistemas de alta eficiencia: conexión a la red de distrito para la calefacción y ACS, alumbrado con detectores de presencia, ascensores de bajo consumo y instalación para electrodomésticos bitérmicos.

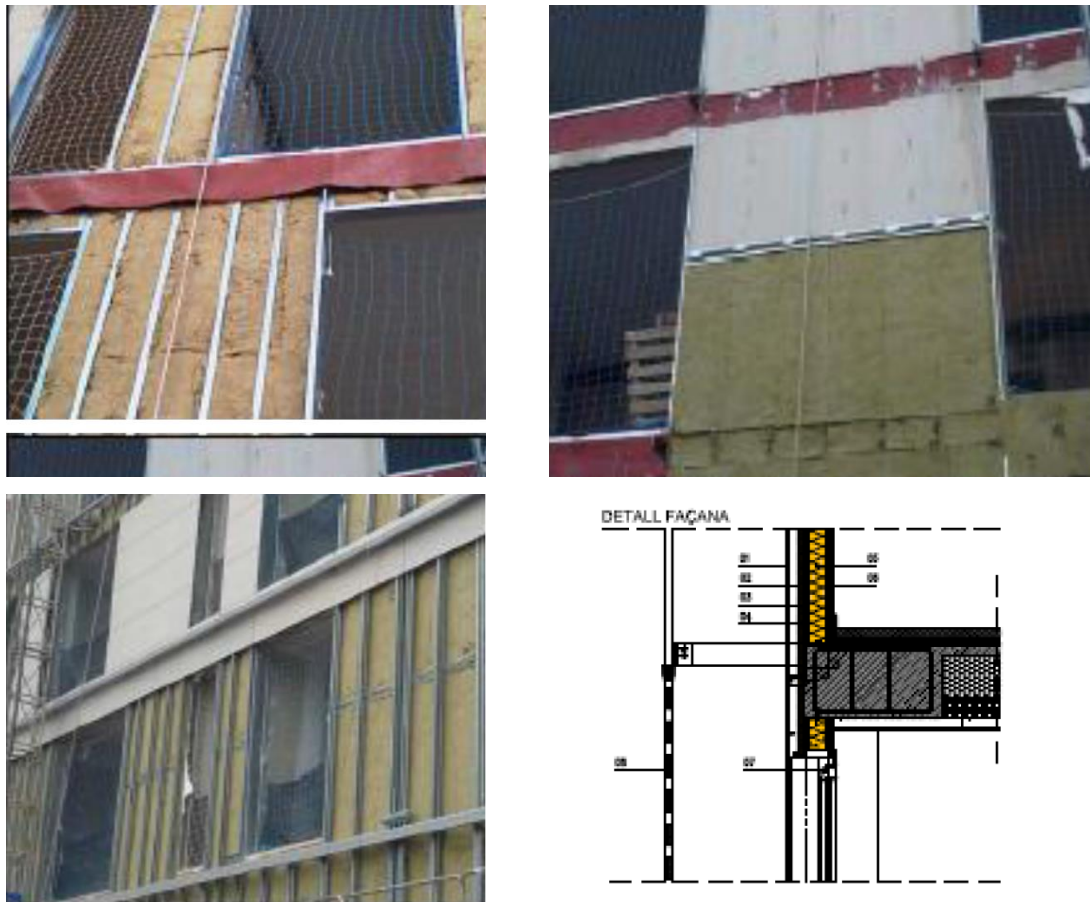


Fig. 60 Aplicación de la fachada ventilada en la obra, aislamiento térmico, soporte y perfiles verticales.

Por último los detalles de la fachada ligera. (SABATÉ ASSOCIATS, 2014)

Detalles de la fachada

El cerramiento exterior es ligero con aislamiento térmico de 14 cm de espesor, cerramiento exterior en fibrocemento reforzado blanco con cámara de aire ventilada.

Las placas de gran dimensión de fibrocemento reforzado son plegadas a la estructura. Las juntas son de 10mm en horizontal y vertical.



Fig. 61 Placas plegadas. Foto de la autora, 2014.

El arranque empieza en el primer piso, se puede observar que casi no hay entrada de aire. Hay una placa de fibrocemento con pequeños agujeros (que pueden permitir una pequeña entrada de aire) que cierra la entrada.



Fig. 62 Agujeros en la placa del arranque. Foto de la autora, 2014

Luego, la ventilación de la cámara se hace primordialmente por las juntas. La entrada de aire por las juntas inferiores y la salida por las juntas superiores. La estructura de la fachada compuesta por montantes horizontales y verticales también dificulta el paso del aire por la cámara.



Fig. 63 Detalle del arranque sin entrada de aire y a la derecha las placas de grandes dimensiones.
Fotos de la autora (2014).



Fig. 64 Detalle del arranque. Foto de la autora, 2014.

Las grandes fachadas tienen orientación suroeste y nordeste. La primera sufre una gran exposición al sol, sin embargo, las características del proyecto como pequeña cantidad de vidrio, protección solar en madera, y alto grado de aislamiento térmico hacen con que el rendimiento del edificio sea mejor, eso es, sus gastos energéticos son menores para un excelente nivel de confort.

La ventilación de la fachada parece no tener papel en el rendimiento del edificio, una vez que el aislamiento térmico tiene papel fundamental. Quedando para la cámara de aire el papel de alejar la humedad del edificio.

Un detalle importante al analizar el certificado energético se observa que para la refrigeración la calificación energética es C, eso puede ser debido al gran espesor del aislamiento térmico que hace con que el calor tarde a salir del edificio.

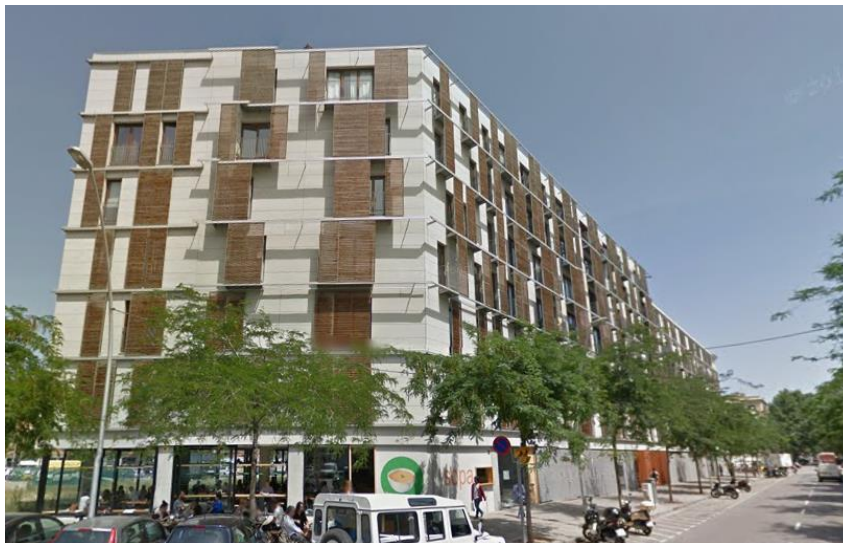


Fig. 65 Fachada oeste y suroeste. Foto de la autora, 2014.

2.3.3 El triangle del 22@

Arquitectura: Serra-Vives-Cartagena Arquitectes

Localización: Barcelona

Año de construcción: 2012

Superficie construida: 7.358,17 m²

Calificación energética: A

Descripción

El Triangle del 22@ es un edificio residencial que se distribuye en planta baja y 6 plantas tipo y 53 viviendas de protección oficial en régimen de alquiler. Todas las viviendas tienen balcón y lavadero y son de 2 dormitorios a excepción del 7^o 5^a que son de una habitación. La planta baja se destina a dos locales comerciales y a los accesos al edificio.

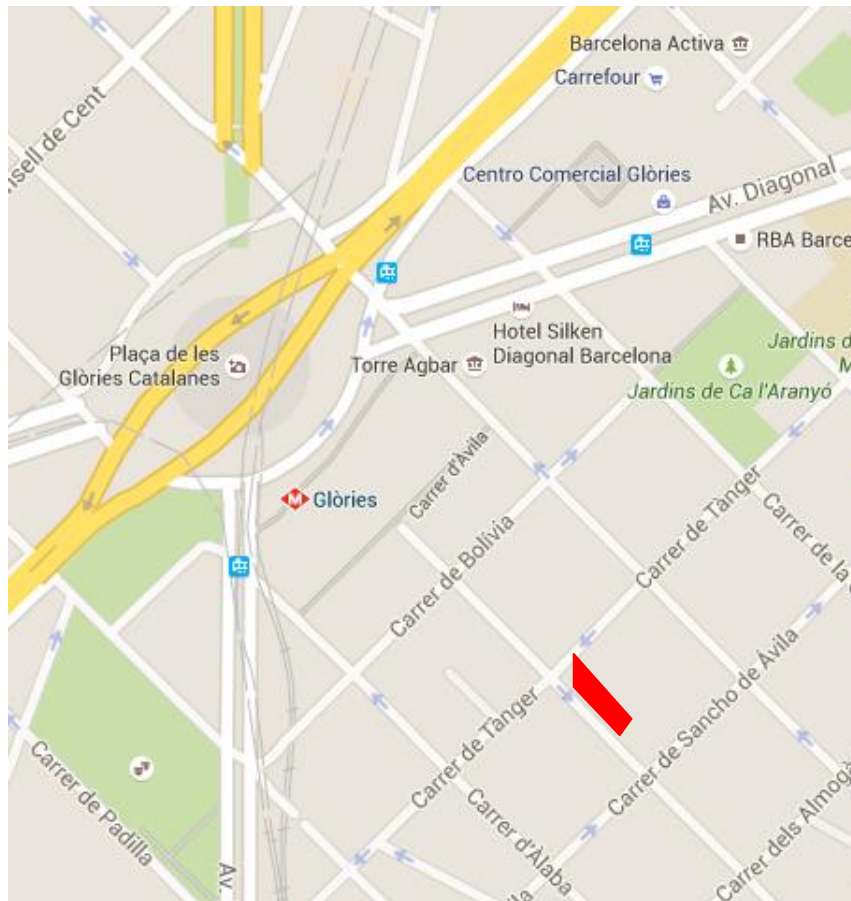


Fig. 66 Emplazamiento del edificio (adaptado de Google maps, 2014)

El edificio ha obtenido la Calificación Energética “A” que otorga el Instituto Catalán de Energía de la Generalitat de Catalunya (ICAEN). Se han minimizado las necesidades energéticas de las viviendas implementando sistemas de ahorro de energía (fachada ventilada de color claro, ventilación cruzada, control temporizado de la renovación de aire de las viviendas y luminarias de bajo consumo, entre otros) y sistemas de producción de energía térmica renovables y de alta eficiencia (conexión a la red Districlima).

Características de la fachada

Fachada aislada y ventilada cerámica de juntas abiertas.

Las fachadas suroeste y oeste cuentan con menos aperturas y una parte grande opaca en fachada ventilada. La suroeste está protegida por balcones y la oeste es prácticamente opaca. En este sentido la fachada ventilada tiene papel

fundamental en el comportamiento térmico del edificio, una vez que las fachadas más soleadas son compuestas solamente por partes opacas.



Fig. 67 Planta tipo (SVCARQUITECTURA, 2014)

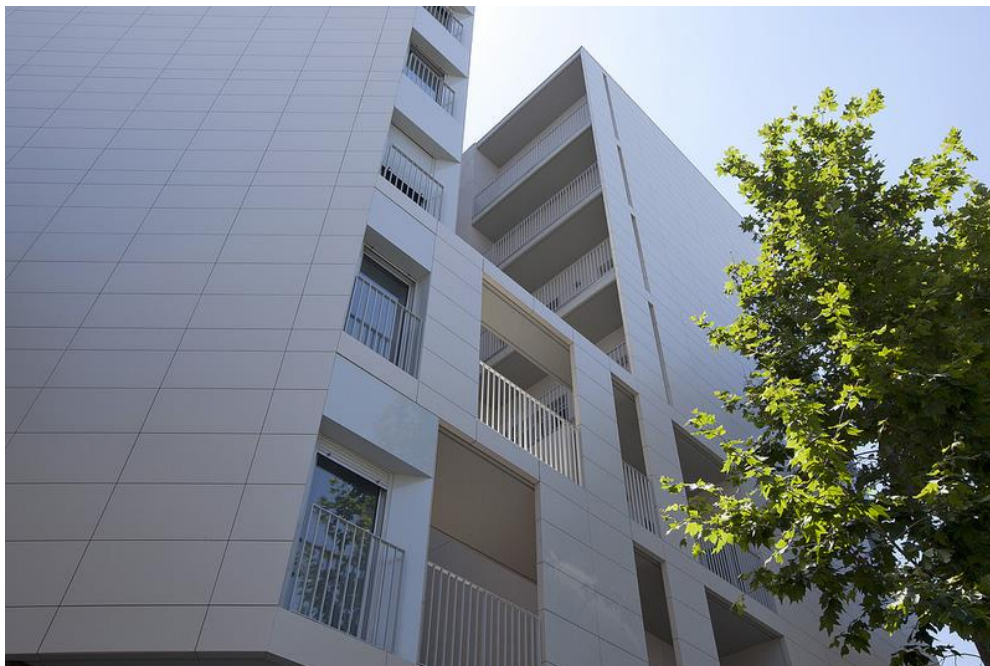


Fig. 68 Fachada Oeste Sudoeste. Foto de la autora, 2014.

La fachada norte es protegida por grandes balcones y no presenta fachada ventilada está todo el tiempo en la sombra.



Fig. 69 Fachada oeste (más castigada por el sol y con pocas aperturas) y fachada sudoeste (derecha con protección de los balcones). Foto de la autora, 2014.



Fig. 70 Vista interna de la fachada sudoeste (juntas abiertas). Ajuntament de Barcelona, 2014



Fig. 71 Balcón de la fachada noreste (circulación exterior). (Ajuntament de Barcelona, 2014) no hay utilización de fachada ventilada. Foto de la autora, 2014.

Se puede observar que en el arranque de la fachada no hay preocupación en hacer entradas de aire (imagen abajo). El acabado es sólido y cerrado.



Fig. 72 Arranque en el primer piso , con la entrada de aire cerrada. Fotos de la autora, 2014.

La ventilación se hace únicamente por las juntas abiertas horizontales y verticales

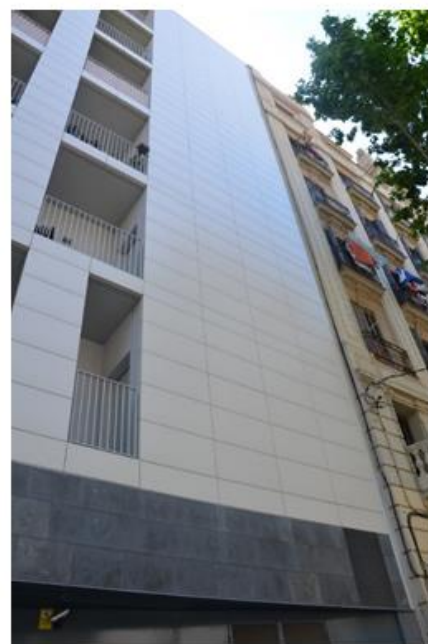


Fig. 73 Juntas abiertas (izquierda) y Arranque en la fachada sudoeste, junto al fachada en piedra (derecha). Fotos de la autora, 2014.

En la coronación hay muy poco espacio de salida de aire, lo que hace que la ventilación se haga solamente por las juntas de la fachada.

En resumen este edificio es bien orientado en cuanto partes opacas y transparentes, las fachadas más asoleadas dependen exclusivamente de la protección de la fachada ventilada.



Fig. 74 Detalle de la coronación sin espacio para la salida de aire. Foto de la Autora, 2014.

2.3.4 Escuela El Tren de Fort Pienc

Arquitecto/s: Pich-Aguilera

Ciudad: Barcelona

Año: 2006

área: 3.695 m²

Tipo de proyecto: Obra Nueva/escuela

Fachada Ventilada: ULMA, línea Vanguard, lisa y perforada M05

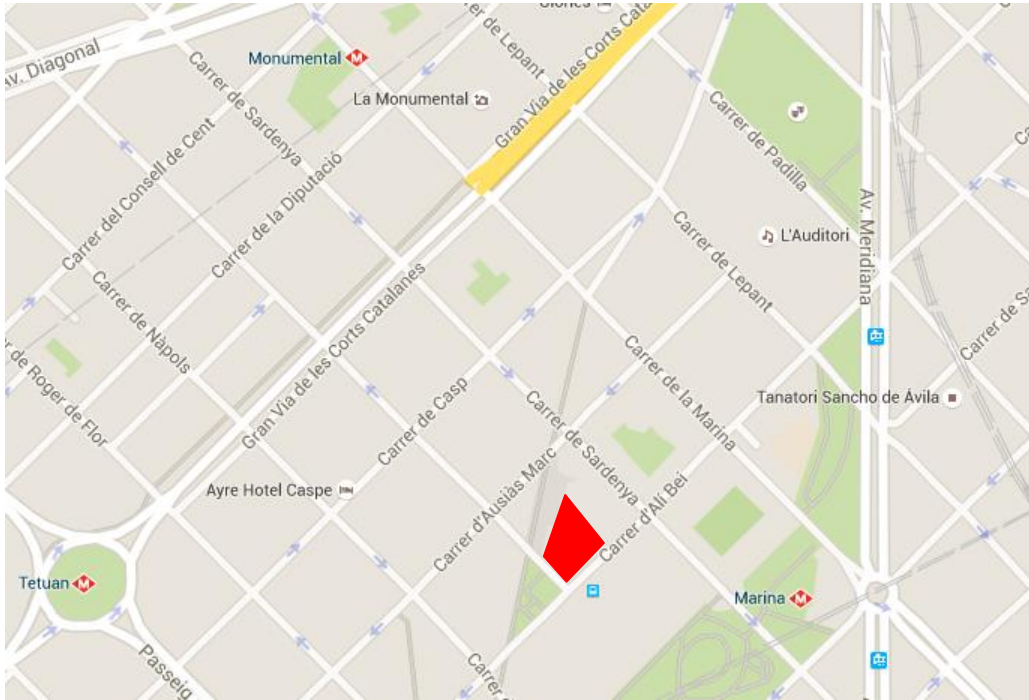


Fig. 75 Emplazamiento del edificio . Google maps, 2015

El Centro de Enseñanza Infantil y Primaria CEIP El Tren de Fort Pienc situado en el Ensanche de Barcelona, ha sido seleccionado para los Premios Cataluña Construcción 2007, en la categoría de Innovación en la Construcción. La particularidad del solar y su reducida dimensión, unida a las necesidades muy detalladas del programa marcan el punto de partida de este proyecto. El edificio debe insertarse en las trazas de su entorno urbano en el contexto de una manzana muy singular, con una volumetría estudiadamente fragmentada y una vía peatonal que la atraviesa en diagonal. Se trata de una manzana de multiequipamientos ya que contiene una biblioteca, un mercado, una escuela, un centro cívico, un casal infantil y un centro y residencia de ancianos. Por otro lado, las condiciones propias de una parcela tan reducida, sugieren activar las cubiertas como patio exterior de juegos y la disposición de celosías y envolventes para dar respuesta a las orientaciones menos favorecidas. La voluntad de la propuesta es adaptarse al entorno inmediato de la manzana, consolidando la esquina con un zócalo prácticamente continuo en la planta baja y con dos volúmenes en las plantas superiores que buscan prolongar y acabar

el contexto de la manzana de estimable valor arquitectónico y urbano.(Pich-Aguilera, 2015).

En cuanto al funcionamiento del edificio, además de ajustarse a los requerimientos de su programa escolar, se ha considerado prioritario el buen comportamiento bioclimático en todas las orientaciones, captando la radiación térmica allá donde las necesidades funcionales lo soliciten, produciendo espacios intermedios climáticos que aporten un beneficio térmico y de confort en el interior del edificio.



Fig. 76 Construcción de las fachadas ventiladas (PARDAL, 2010)

Descripción del Edificio

El edificio de nueva planta, se organiza con una planta baja que actúa como zócalo vertebrador y dos volúmenes paralelepípedos de tres plantas cada uno, que se conectan mediante un espacio de forma triangular, donde se ubica el ascensor y la escalera. Parte de la cubierta de la planta baja sirve como patio, dada la ubicación del colegio en un entorno con mucha densidad. Hay un acceso secundario para fin de semana y también cuando sólo se utiliza el gimnasio.

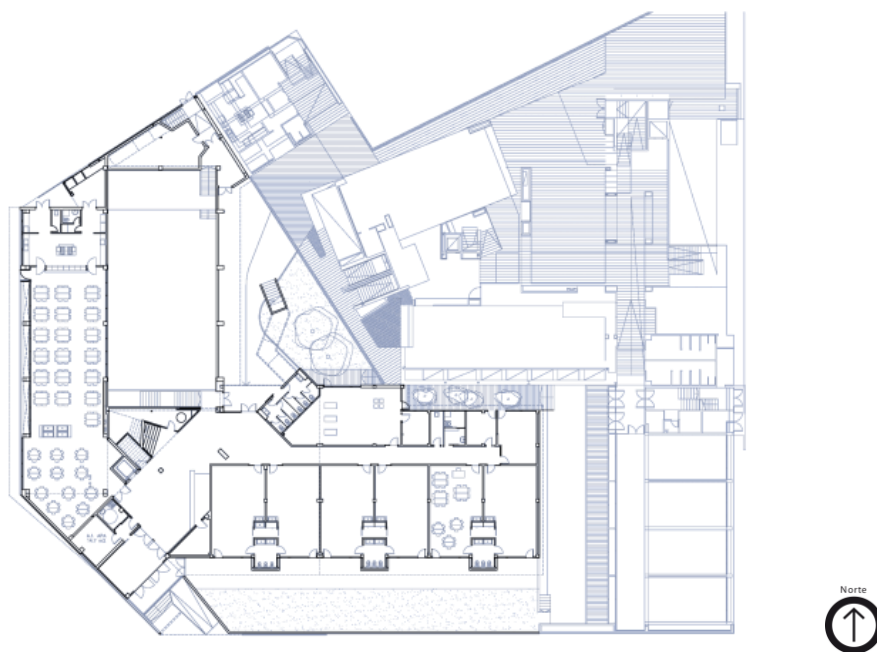


Fig. 77 Planta Baja Fuente: SANTOS SÁ, 2012

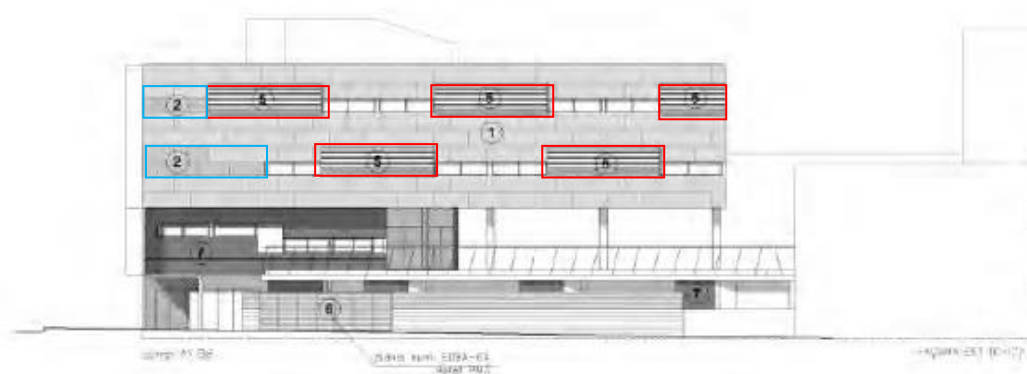


Fig. 78 Vista exterior de la fachada: parte opaca (predominante), lamas (rojo) y las placas perforadas (azul). Fuente: SANTOS SÁ, 2012 adaptado por la autora.

Descripción de la fachada

La fachada principal del edificio está orientada a SO hacia la plaza pública delante de la Estación del Norte. La otra fachada forma “V” con parte de las aulas orientada a E. Las fachadas S y SO más expuestas a la radiación solar están protegidas por lamas.

La idea de los arquitectos era crear un concepto integral de fachada ventilada industrializada.

Las fachadas hacia la calle se articulan mediante fachada ventilada compuesta de (desde el interior hacia el exterior): paneles de hormigón prefabricado situados por delante de los cantos de los forjados, aislante térmico a base de placas de poliestireno y placas de tipo hormigón polímero con acabado en color blanco mate. El zócalo está formado por hormigón polímero con acabado superficial de color negro mate. Difiere la fachada al patio, el color gris, con el zócalo acabado de cerámica vidriada de color esmaltado hielo.

Son 4 elementos de hormigón polímero que componen la fachada: uno opaco, colocado como fachada ventilada propiamente dicho, uno perforado, que permite el paso de luz hacia el interior, una pieza de lamas que tamiza la luz según la orientación solar y una pieza opaca del color natural de hormigón polímero, que compone y da continuidad a todo el zócalo del conjunto.

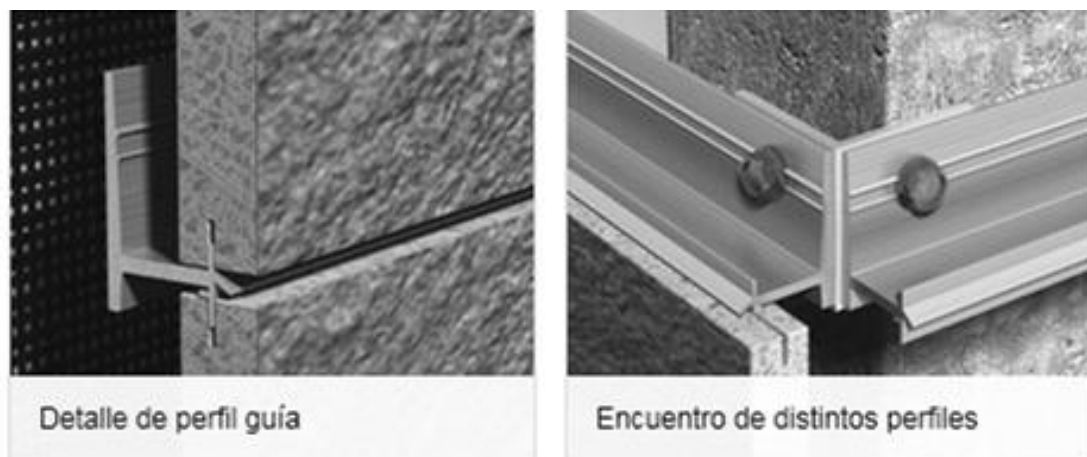


Fig. 79 El aire no entra por las juntas cerradas. Fuente: ULMA, 2015



Fig. 80 Acabado de la coronación espacio mínimo de salida de aire. (ULMA, 2015)

El hormigón polímero es un material compuesto por una combinación de áridos de sílice y cuarzo, ligados mediante resinas de poliéster estable. Destaca su resistencia mecánica (hasta 4 veces más resistente a la compresión que el hormigón

tradicional) permitiendo la producción de elementos ligeros y con dimensiones reducidas

El sistema elegido es de Ulma se llama Vanguard, el espesor de la placa es 14mm, piezas de 1800x900mm/900x450mm, sistema de fijación continuo y oculto, sistema de colocación horizontal y vertical, junta de 3 mm alternada y/o alineada. La cámara de aire tiene aproximadamente 6 cm.

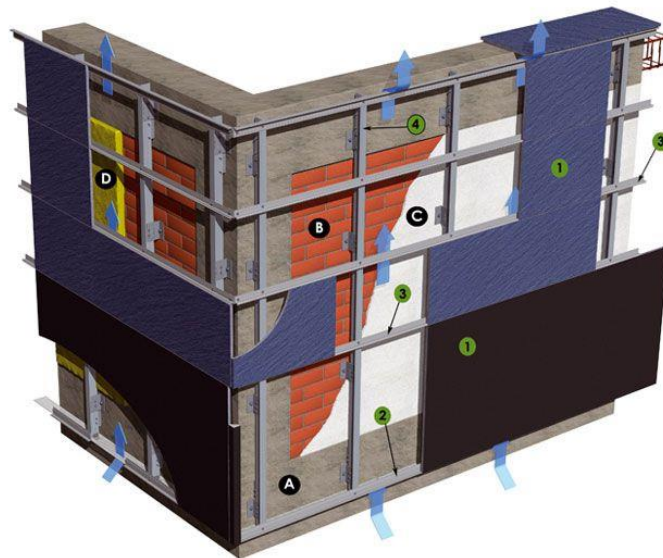


Fig. 81 Detalle constructivo de la fachada Ulma (Ulma, 2014)



Fig. 82 Detalle de las lamas.
Fuente: ULMA, 2015



Fig. 83 Detalle de las placas opacas, perforadas y las lamas Fuente: ULMA, 2015



Fig. 84 Vista de la fachada sur (opaca y perforada) y suroeste (lamas, opaca y perforada) . Fuente: ULMA, 2015



Fig. 85 Construcción de la fachada. Foto: Adria Goula (PICH-AGUILERA, 2015)



Fig. 86 Edificio construido. Placas perforadas dejan pasar luz para las ventanas interiores. Fuente: foto: Adria Goula . PICH AGUILERA, 2015

Análisis de la fachada

Observando detalles de las fotos sacadas en 2014, se concluye que en la ejecución del proyecto no hubo preocupación con las entradas y salidas de aire, que están muy bien detalladas en los catálogos de la empresa. Se observa en la primera planta que la supuesta entrada está cubierta por una placa metálica. Esto hace que no ocurra ventilación por la parte baja.

Otro punto fundamental es que las juntas son ocultas y cerradas, es decir tampoco funcionan como entrada de aire. La humedad acumulada tampoco tiene por donde ser evacuada.

Por lo tanto en este tipo de fachada puede ocurrir convección natural dentro de la cámara, pero probablemente el aire se calentará demasiado en verano ya que no puede salir, eso compromete el comportamiento térmico de la fachada. En invierno no habrá tantos problemas, como ya se ha comentado en esta tesis, la ventilación de la cámara en el frío, algunas veces, no beneficia el ambiente interior.



Fig. 87 Construcción de la lamas de la fachada. Fuente: foto: Adria Goula .PICH AGUILERA,2015



Fig. 88 Vista de la construcción de los paneles de hormigón prefabricados. Fuente: foto Adria Goula , PICH AGUILERA,2015

Una característica del edificio que ha sido utilizada solamente como elemento de iluminación son las placas perforadas, sin embargo, con otro detalle de diseño podría ser utilizada para que el aire entrase y saliese de la fachada en una estación cálida.

Otros puntos del edificio analizados presentan algunas patologías, debido probablemente al exceso de humedad en la cámara de aire. La imposibilidad de ventilar la cámara hace también que el aislamiento térmico esté dañado.

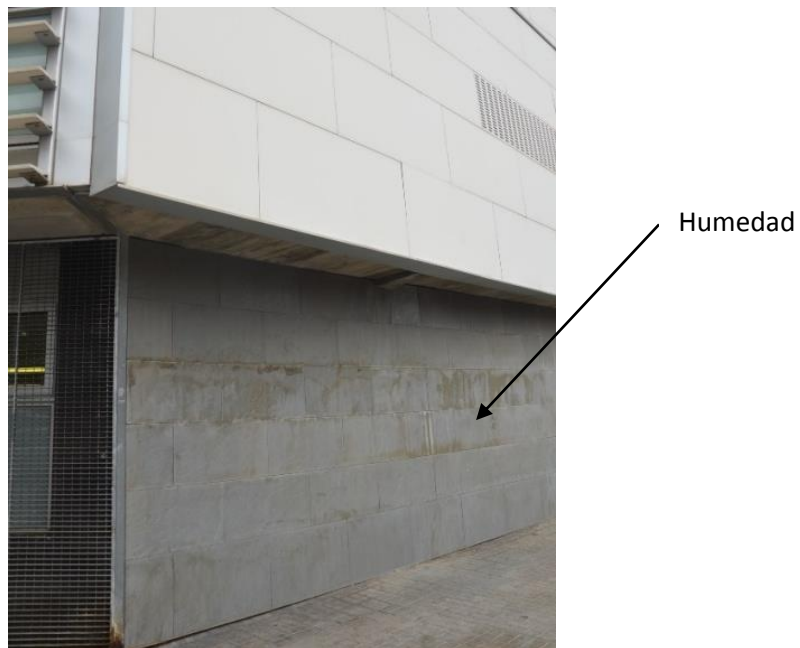


Fig. 89 Patologías en el zócalo. Puede ser una señal de exceso de humedad ya que no hay ventilación en la cámara. Foto de la autora, 2014.



Fig. 90 Ausencia de entrada de aire en la fachada ventilada. Foto de la autora , 2014.



Fig. 91 Foto del detalle del zócalo (despliegue de piezas) donde se puede observar que no existe entrada de aire y que las juntas son cerradas. Se observa también que el espacio de circulación sería suficiente si hubiese una entrada de aire. Foto de la autora, 2014.

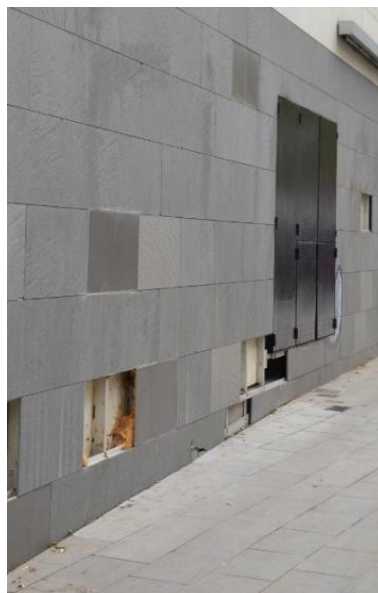


Fig. 92 Despliegue de piezas en el zócalo. Foto de la autora, 2014.

Finalmente es un edificio que trabaja bien sus diferentes fachadas, sin embargo la falta de espacios de entrada y salida de aire hace que esta fachada no pueda ser considerada ventilada.

2.3.5 Hostel Twentytu

Arquitectura: Mancineiras/Parés Arquitectes Associats Slp

Ubicación: Pamplona 114-116, 08028 Barcelona

Tipo de edificio: Nueva construcción, Hotel pensión

Año de la construcción: 2011-12

Superficie útil: 2 025 m²

Número de unidades funcionales: 62 Habitaciones

Edificio destinado al uso de albergue juvenil que ha obtenido la calificación energética “A”, según l’Institut Català de l’Energia (ICAEN), el primero de uso hotelero en la provincia de Barcelona.

Edificio situado en el Distrito tecnológico del 22@, se distribuye entre siete plantas, una subterránea y 6 sobre rasante. Ha obtenido el Certificado ISO 50001 en Gestión Energética.

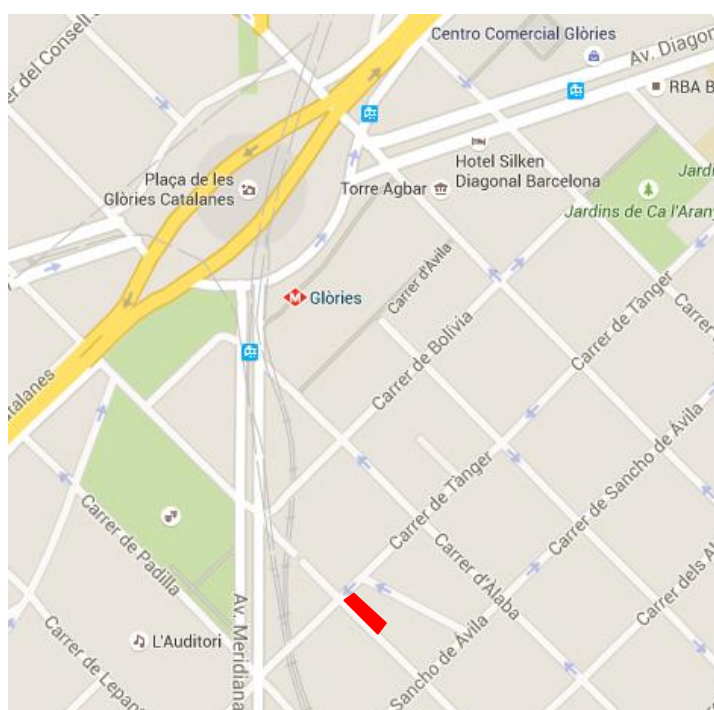


Fig. 93 Emplazamiento del edificio (adaptado de Google maps, 2015)

“Este edificio se diseñó aprovechando la posibilidad de disponer de la conexión a la red de Districlima, recogida neumática de residuos, y como no, el entorno tecnológico (característica principal que destaca en el Distrito) que nos “obligaba” a ser consecuentes y reflejar la implantación de eficiencia energética en

aplicación del sentido común” (Manciñeiras/Parés Arquitectes, 2014).

Al tratarse de un establecimiento de uso hotelero y con amplia afectación por el sector turístico, se planteó desde un inicio como un reto el hecho de poder promocionar un edificio pionero en la ciudad en cuanto a la aplicación de criterios de sostenibilidad, y que gracias a ello, ha permitido obtener la calificación “A”. También se planteó como un reto el hecho de que se pudiera aplicar los criterios de sostenibilidad, lo que implica más inversión, a un segmento hotelero de low cost, como es el de los youth hostels (albergues juveniles).

Características de la fachada

La fachada principal (suroeste) es ventilada, con un revestimiento de placas cerámicas extrudidas de dos colores distintos, sujetas mediante una sub-estructura metálica, mientras que en los macizos entre las grandes aperturas de la planta baja la fachada son aplacados con piedra natural. Ambas superficies de diferentes materiales quedan delimitadas y separadas por un perfil de acero laminado pintado. La fachada que delimita la escalera de evacuación exterior es calada, formada también por piezas cerámicas de celosía del mismo tipo y color que las piezas de fachada.

Energía (Construccion21, 2014)

Energía primaria necesaria :	106,00 kWh PE/m ² /year
Energía primaria necesaria por un edificio estándar :	240,00 kWh PE/m ² /year
Método de cálculo :	Real Decreto Español: 47/2007
Energía final :	44,00 kWh FE/m ² /year
Desglose del consumo de energía : Calefacción: 19,7%; Refrigeración: 7,6 %; ACS: 4,2%; Iluminación 68,5%	
Más información : Consumo real junio: 2578 kWh	

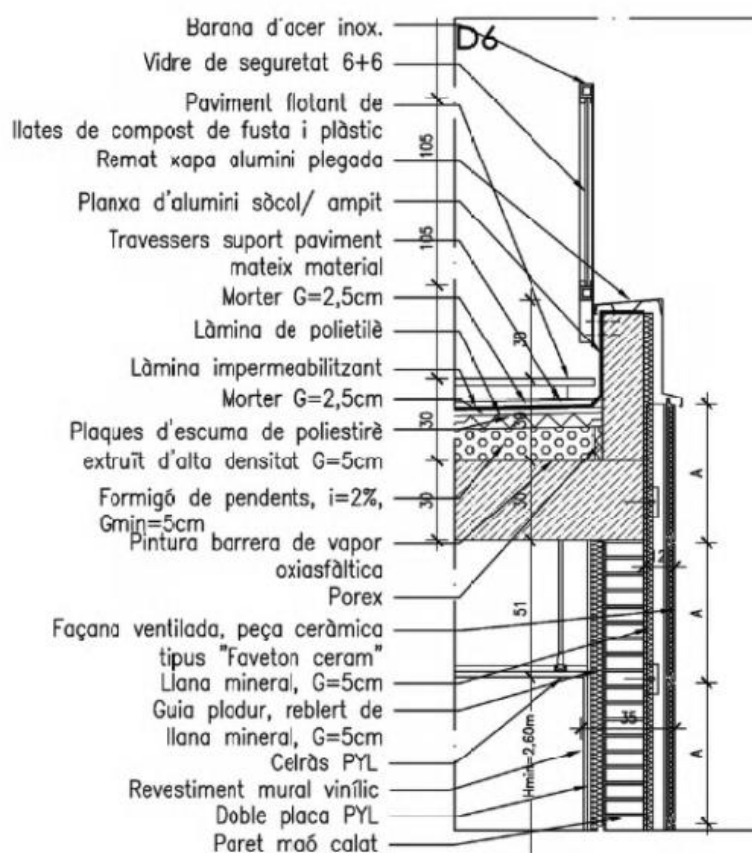
Comportamiento de la envolvente:

Valor de la transmitancia de la fachada (U) :	0,27 W.m ⁻² .K ⁻¹
Más información : U para las ventanas: 2,84 W/m ² K; U para el techo: 0,37 W/m ² K; U para el suelo: 0,04 W/m ² K.	

Fachada utilizada: fachada ventilada cerámica FAVETON CERAM



Fig. 94 Tipología de fachada y sistema de sujeción utilizados.



Detalle de la fachada:
 aislamiento térmico de 5cm
 en el interior y en el exterior
 (lana mineral). Detalle de la
 coronación con poco
 espacio para la salida del
 aire.
 (MANCIÑEIRAS/PARÉS
 ARQUITECTES, 2014)



Fig. 95 Proceso de montaje de la fachada (Manciñeiras/Parés Arquitectes, 2014)



Fig. 96 a 101 Ejecución de la fachada: Arriba se observa la hoja interior cerámica, aislamiento térmico lana de roca 5cm; perfiles verticales; Abajo están los perfiles horizontales y hoja exterior cerámica. (Manciñeiras/Parés Arquitectes, 2014)

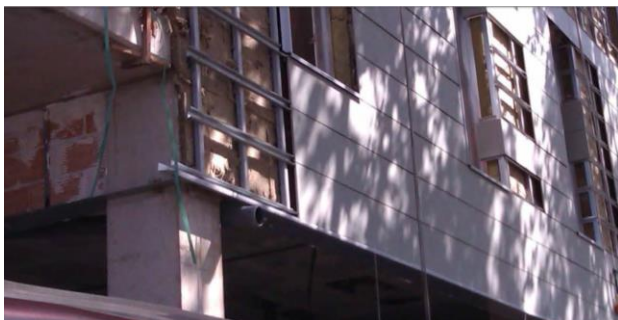
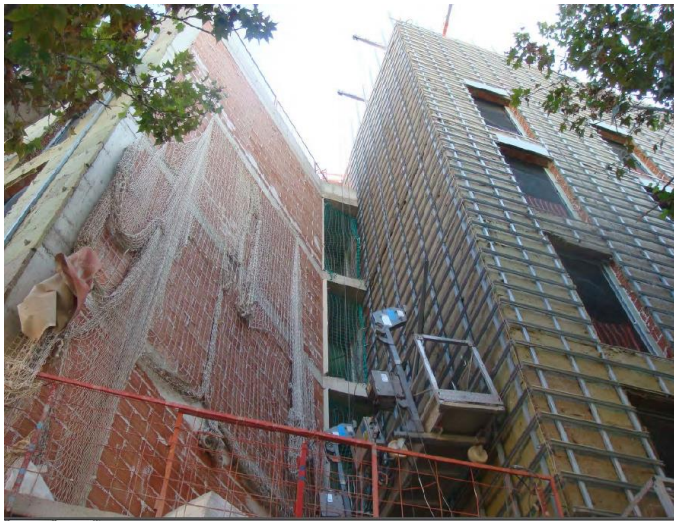




Fig. 102 Fachada Principal. Foto de la autora, 2014

Las soluciones enseñadas por la empresa en el arranque con la presencia de rejilla para facilitar la ventilación de la cámara no fueron ejecutadas en el edificio construido. En la primera planta donde empieza la fachada ventilada se ve todo sellado.



Fig. 103 Situación de ejecución de la fachada arranque sellado. Foto de la autora, 2014

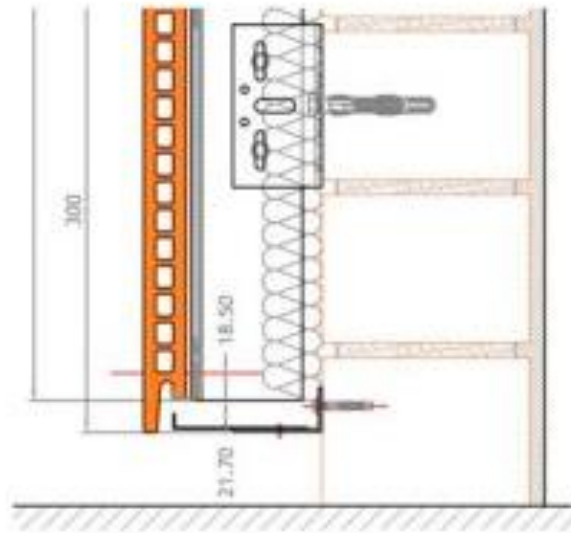


Fig. 104 Situación del arranque en el catálogo de la empresa (2014)

En la coronación lo que ha sido ejecutado parece seguir los detalles de la empresa.(ver detalle de la fachada)



Fig. 105 Foto de la coronación. Foto de la autora, 2014.

Las juntas son abiertas con 10mm de espesor en vertical y horizontal. Como no hay aberturas en el arranque, el movimiento de aire se hace por estas juntas.

Así como el edificio Ecourban ejecutado con la fachada ventilada de la misma empresa, las piezas cerámicas son extrudidas con gran espesor, es decir tienen inercia.

A close-up photograph of a modern building's exterior. The facade is composed of large, light-colored rectangular panels, possibly stone or concrete, arranged in a grid pattern. Dark horizontal and vertical lines separate the panels. The lighting is soft, suggesting an overcast day. The bottom edge of the image shows a dark, possibly metallic, horizontal band.

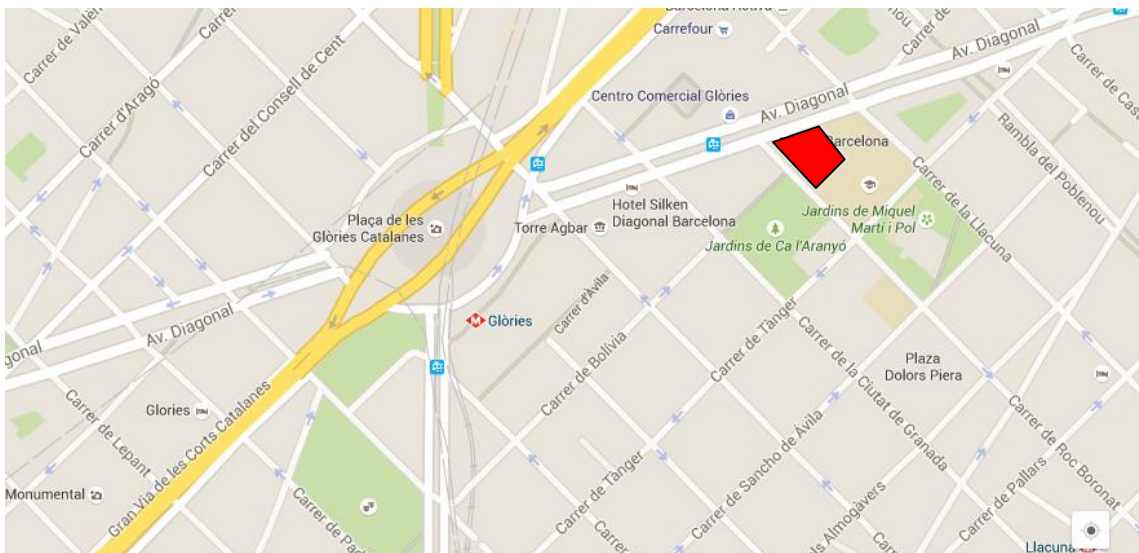


2.3.6 Edificio RBA Barcelona

Ubicación: Glories, Barcelona (España)

Tipo de actuación: Nueva construcción / Editorial**Finalización: 2011**

Superficie total: 25.673,16 m²



109

Descripción

El edificio corporativo del grupo editorial RBA se desarrolla en dos cuerpos superpuestos claramente diferenciados y unidos por una gran terraza ajardinada, junto a la que se sitúa un auditorio. Se distribuyen en 18 plantas sobre rasante y 4 plantas sótano.

En el volumen inferior destaca la entrada a doble altura de la planta baja, a modo de calle interior que comunica la avenida Diagonal con la c/ Roc Boronat, dando continuidad a la solución arquitectónica del vecino edificio MEDIAPRO. Sus fachadas de paneles de cerámica vidriada aluden a las pocas fábricas de ladrillo que aún existen en el barrio del Poblenou, recordando su pasado industrial.

Diseñado por MBM Arquitectes como edificio sostenible, en su construcción (2007-2011) se han utilizado materiales en seco y prefabricados, reduciendo la generación de residuos durante la obra y adoptando diversas medidas de ahorro energético: fachadas ventiladas y con diferente tratamiento según su orientación, aprovechamiento de la luz natural, protección solar a base de *brise-soleils*, control y regulación de la iluminación interior en función del nivel de luz solar detectado por sensores lumínicos de interior y exterior situados en varias zonas del edificio, paneles fotovoltaicos para producción de electricidad, etc. Se ha realizado una buena definición de la envolvente del edificio: carpintería con rotura de puente térmico mayor de 12 mm.



Fig. 108 Vista exterior de la fachada suroeste . Foto de la autora, 2014.

Características de la fachada

Fachada utilizada: fachada ventilada cerámica FAVETON

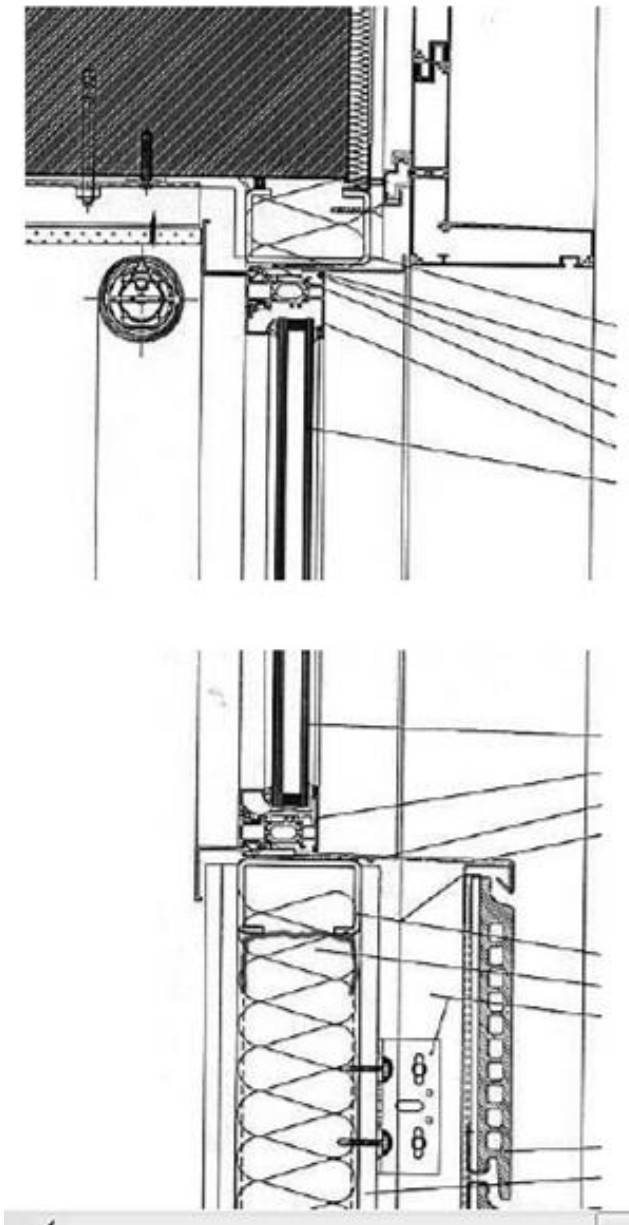


Fig. 109 Detalle de la fachada: la cámara de aire es ancha, pero la preocupación con las entradas y salidas de aire es pequeña, es decir hay muy poco espacio para que ocurran.

Fuente: Miquel Zurita, 2011.

El sistema de fachadas es el mismo utilizado en Ecourban y Hostel Twentytu de Faveton, por lo tanto en esta obra se analizará el diseño de la fachada.

Los arquitectos han tenido la preocupación con las diferentes orientaciones del edificio, es decir donde no se recibe radiación directa, como la fachada norte se ha utilizado de paneles de vidrio para aprovechar la luz natural.



Fig. 110 Fachadas distintas para las diferentes orientaciones (fachada cerámica, noreste y la norte en vidrio) Google streetview, 2015.



Fig. 111 Fotos de la construcción de la fachada en seco
Fuente: Miquel Zurita, 2011

En las otras fachadas sin embargo se puede observar que la utilización de la fachada ventilada no presenta detalle de entradas y salidas de aire en el arranque o la coronación de la fachada, la supuesta ventilación sería solamente por las juntas

horizontales machihembra y verticales (en este caso muchas veces mayores que las horizontales) y en algunos casos parece haber algo de espacio en la coronación.



Fig. 112 Detalle del acabado de la fachada dificultad de salida del aire (izquierda) y Ausencia de entrada de aire en la fachada ventilada (derecha) . Fuente: Miquel Zurita, 2011

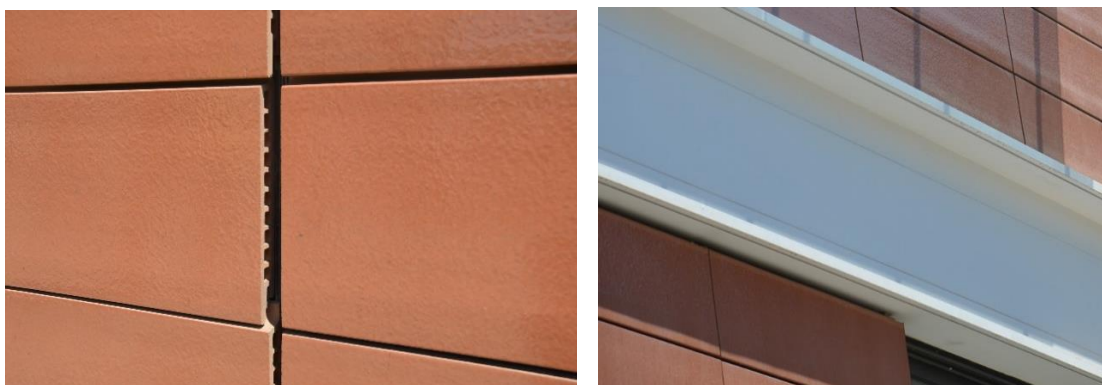


Fig. 113 Detalle de las juntas verticales y horizontales (izquierda): Detalle de pequeño espacio para la salida del aire en la parte alta de la fachada (derecha). Fuente: Foto de la autora, 2014.

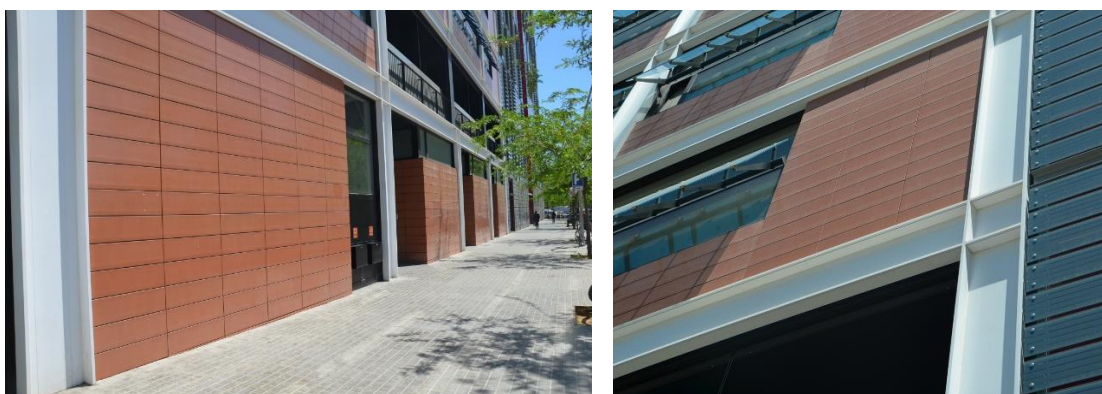


Fig. 114 Ausencia de entrada de aire en el arranque de la fachada (pegada al suelo); sectorización de la fachada (derecha). Fuente: foto de la autora, 2014.

Por otro lado observando la coronación es posible concluir que hay espacio para que el aire caliente salga por arriba, así es posible que ocurra algún movimiento de aire en la cámara.

En la imagen abajo se observa que la estructura metálica es aparente y la fachada está dividida en sectores por plantas, por lo tanto la altura de la cámara es pequeña y la velocidad del aire baja.

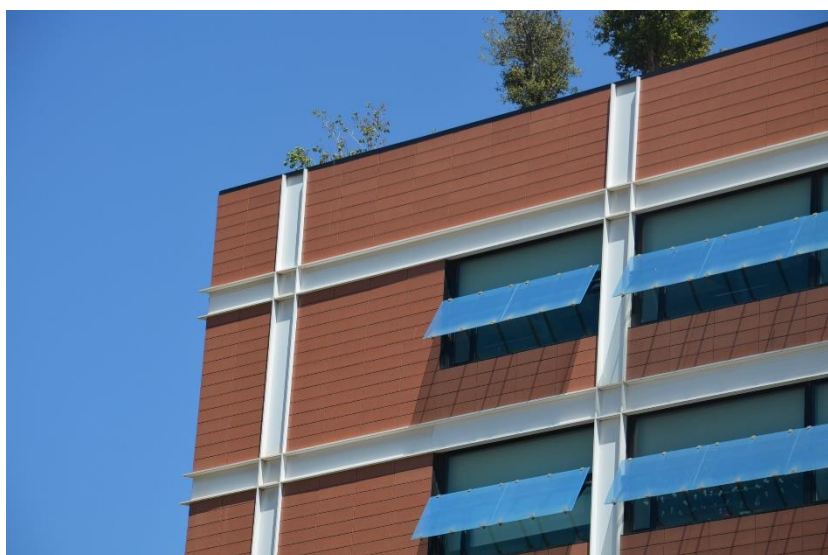


Fig. 115 División de la cámara en sectores, pequeña altura de la cámara de aire. Foto de la autora, 2014.

Conclusiones estudio cualitativo de las fachadas: empresas y ejemplos

A partir de este estudio ha sido posible entender cómo están construidas algunas las fachadas ventiladas en Barcelona. Es importante percibir que muchas veces la ejecución de una fachada no es cómo muestran los catálogos de las empresas. Soluciones diferentes requieren proyectos diferentes, ni siempre se utilizan los detalles sugeridos por de la empresa.

La fachada ventilada siempre está en evidencia cuando se explica cuan sostenible es el edificio, pero al final la calificación energética no toma esto en cuenta y analiza la transmitancia (U), que en el caso de muchos edificio está por encima de lo recomendado por el CTE. Basándose en lo estudiado en el estado de arte es posible afirmar que gruesas capas de aislamiento térmico neutralizan el efecto de la

ventilación de la cámara de aire, quedando a ésta solamente el papel de alejar la humedad y no menos importante el papel de romper los puentes térmicos.

No hay preocupación real con la ventilación de la fachada, ni por parte de las empresas, ni por los arquitectos, parece que sólo poner este “rótulo” ya es suficiente y el edificio es más sostenible.

En los ejemplos estudiados casi no se ve preocupación con detalles de entradas y salidas (sólo el edificio Ecourban los presenta) que se observa en los catálogos de las empresas, parece que en la práctica es mucho más laborioso y costoso detallar este tipo de solución.

Una característica interesante a puntuarse y que muestra la preocupación en la utilización de la fachada ventilada de los arquitectos es que muchos edificios fueron trabajados con diferentes materiales y estrategias proyectuales en las diferentes fachadas.

2.4 Eficiencia energética de la fachada ventilada: Mito o realidad

En resumen, es cierto que todas las investigaciones detectaron que hay disminución de transferencia de calor en la fachada ventilada, en verano, cuando hay la presencia de sol. También es verdad que en inviernos rigurosos este tipo de cerramiento no tiene efecto positivo. El ahorro energético que proporciona es una incógnita que depende mucho del proyecto, es decir, la orientación, el material y los detalles de la fachada. Cada investigación analizada encontró un porcentaje distinto de ahorro. Las comparaciones realizadas siempre se hacen con el cerramiento doble opaco sin ventilar, una realidad europea.

Otro factor importante que se puede percibir es que la fama de la fachada ventilada como elemento de arquitectura climática y sostenible está muy presente. Los investigadores intentan muchas veces encontrar sólo los puntos positivos, ignorando el mal comportamiento en invierno. Las empresas suelen relacionar este tipo de fachada al ahorro energético y a la sostenibilidad, pero de hecho la forma de construir la fachada determinará si ella ahorrará o no energía. Muchas veces la fachada ventilada no pasa de una fachada con comportamiento de fachada sellada pero que aleja la humedad de la pared y tiene una protección contra los puentes

térmicos más eficiente, lo que es positivo pero no es exactamente lo que muchos profesionales piensan.

Lo que queda claro es que en lugares muy soleados la fachada presenta resultados positivos en cuanto ahorro de energía, por eso el interés de esta tesis en evaluar su comportamiento en Brasil.

3. ANÁLISIS DEL CLIMA EN BRASIL: las preexistencias para el uso de la fachada ventilada

Para estudiar cualquier elemento de proyecto que tenga como objetivo aumentar el confort de una edificación, como es el caso de los muros exteriores, primeramente es necesario conocer el clima en lo cual este edificio está situado, tener contacto con los elementos presentes en este clima, entender de qué forma interactúan y de qué forma interfieren en la vida del ser humano, para a partir de ahí proyectar correctamente.

Brasil es un país de climas bastante complejos, está situado a noreste-este de América del Sur, está limitado por el océano Atlántico en un recorrido de 7.408 Km y ocupa un área de 8.511.965 Km², siendo el quinto país del mundo en tamaño de territorio. Está situado entre las latitudes de 5°16'N y 33°45'S. Sus dimensiones son tan grandes que a lo largo de su extensión son encontrados paisajes y climas diversos y muchas veces muy contrastantes.

Una pequeña parte de su territorio, cerca de 8%, pertenece al hemisferio Norte. Brasil presenta 90% de su superficie en la franja tropical y apenas 10% en la zona templada (abajo del Trópico de Capricornio). Según Serra (1975), por situarse en esta posición geográfica, Brasil debería presentar un clima más cálido del que en realidad se comprueba que existe, esto ocurre debido a sus extensas regiones de meseta.

El relieve del país es variado, sin embargo modesto. Alrededor del 40% de su territorio se encuentran por debajo de 200 m de altitud, el 45% entre 200 y 600 m, el 12% entre 600 y 900 m, sólo un 3% por encima de 900 m de altitud.(da SILVA, 1994)



Fig. 116. Relieve de Brasil Fuente: geoconceicao.blogspot.com.br

3.1 Clasificación climática de Brasil

No existen dos lugares en el planeta que tienen exactamente el mismo clima, pero por motivos metodológicos es posible clasificar, en función de sus similitudes, las regiones climáticas. Una región climática es una cierta área de superficie de la Tierra sobre la cual los efectos combinados de diversos factores resultan en un conjunto de condiciones climáticas aproximadamente homogéneas.

En el caso de Brasil, es importante subrayar que varias regiones climáticas del país tienen un área igual que muchos países, y pueden tener subclimas, que se distinguen por diferentes conformaciones establecidas por la topografía, las masas de vegetación, cuerpos de agua, entre otros.

La clasificación del clima que aquí se presenta ha sido desarrollada por Edmon Nimer, que hizo la clasificación a partir de la definición de autores como Koppen, Gaussen y Bagnouls, seleccionando los aspectos importantes de cada región de Brasil (da Silva, 1994):



Fig. 117 División de regiones de Brasil . Fuente: Brasilescola.com

- Región Norte - cubre la región amazónica casi en su totalidad, y es donde se destaca la homogeneidad del clima, que se debe al relieve simplificado y la

extensión de los bosques. El clima es cálido y con predominio de las altas temperaturas. La intensa humedad y nubosidad limitan las máximas temperaturas diarias, manteniéndolas fuera de los valores extremos. Además, la oscilación térmica estacional es más baja en comparación con la oscilación entre el día y la noche.

- Noreste – presenta climatología de alta complejidad debido a la posición geográfica y los sistemas de circulación atmosférica, con altas variación de precipitaciones y reducida variación térmica. Hay un predominio de las altas temperaturas, con poca amplitud anual.
- Región Centro Oeste. A pesar de tener un período muy cálido, hay invierno con temperaturas bajas en zonas altas, debido a la posición continental y el aire seco en tiempos estables. El clima cálido es predominante y subcálido en lugares por encima de 1.000 m.
- Región Sudeste - es la que tiene mayor diversidad climática. En ella hay una transición entre los climas cálidos de bajas latitudes y climas mesotérmicos del tipo templado de latitudes medianas. Durante el año hay un predominio de temperaturas cálidas.
- Región Sur - presenta el clima de tipo templado mesotermal. Tiene el ritmo de las estaciones y los valores de precipitación bien definidos. Hay oscilación térmica durante todo el año, dando un carácter clima templado a causa de los centros de acción de latitudes bajas y altas. Tiene verano bastante cálido e invierno frío, es una región sometida a los frentes polares. Tanto por la uniformidad de relieve, la permanencia en la zona templada, como por no se extender hacia el sur, o se alejar de la línea de costa, hay una tendencia de la uniformidad de unidades de clima.

Como complementación se puede analizar la clasificación climática de Koppen, un poco más precisa que la anterior.



Fig. 118 Clasificación de Koppen para Brasil. Fuente:geoconceicao.blogspot.com.br

La clasificación de Koppen se caracteriza por regiones y subdivisiones:

A – Tropical / Megathermal¹⁰ : Clima tropical húmedo, todos los meses Del año presentan temperaturas media sobre lo 18°C.

Af- Equatorial

Am- Tropical Monzónico

Aw- Tropical de sabana con invierno seco

As- Tropical de sabana con verano seco

B – Seco - àrido y semi àrido: con precipitaciones deficientes durante la mayor parte del año.

BSh – Semi arido cálido (estepario)

C – Templado /Mesothermal¹¹

Cfa –subtropical húmedo sin estación seca (verano calido)

Cfb – oceánico (verano suave)

CWa – Subtropical con estación seca (verano cálido)

CWb - Templado con invierno seco (verano suave)

¹⁰ Un clima megathermal a veces se divide en dos subgrupos basados en la temperatura - ecuatorial y tropical - con "ecuatorial" denota poca o ninguna variación en la temperatura durante todo el año y "tropical" que denota la variación estacional significativa, a pesar de que ningún mes tiene una temperatura media de menos de 18°C.(DOCSETOOLS, 2015)

¹¹ En climatología, se utiliza el término mesothermal para referirse a ciertas formas de clima suelen encontrarse en zonas templadas de la Tierra. Tiene una cantidad moderada de calor, con inviernos no lo suficientemente frío para sostener la cubierta de nieve. Los veranos son cálidos en los regímenes climáticos oceánicos y caliente dentro de los regímenes climáticos continentales.

3.2 Normativas Brasileñas de Desempeño térmico y la Zonificación climática

La zonificación climática es crucial para ayudar a identificar las características climáticas que influyen más fuertemente en el rendimiento térmico y necesidades de confort en la arquitectura.

De la unión de estos dos conceptos se realiza en 1991 el "I Encuentro Nacional sobre Normalización en Uso Racional de Energía y Confort Ambiental en Edificaciones" , en Florianópolis, Brasil, donde fue presentada la primera versión de la zonificación climática brasileña.

Sin embargo sólo a partir de 2005 esta zonificación se convirtió en parte de la normativa nacional con la publicación de la NBR 15220: *Desempenho Térmico de Edificações* (ABNT, 2005). Su objetivo era constituir un conjunto de recomendaciones y estrategias constructivas para la adecuación climática de viviendas sociales. Son parámetros muy básicos si comparados a los europeos, pero son un avance en esta área en el país.

La normativa está dividida en 5 partes, donde se encuentran las definiciones de los términos utilizados, los métodos de cálculo utilizados (Transmitancia, Capacidad térmica, Retraso térmico, Factor solar), mediciones de la resistencia térmica y de la conductividad térmica y la zonificación climática brasileña y directrices constructivas para viviendas unifamiliares de interés social (bajo coste).

Hay otra normativa, más reciente, publicada en 2008, la NBR 15575: *Desempenho de edificios habitacionais até 5 pavimentos*, que normaliza varios puntos de proyecto y construcción de viviendas y trata también de su comportamiento térmico. Ambas se interrelacionan cuanto a los conceptos térmicos.

En la zonificación climática, que es la parte 3 de la normativa 15220, el país ha sido dividido en ocho zonas climáticas, definidas con el uso de la carta psicrométrica adaptada a partir de la carta de Givoni (1992). Las tablas de Mahoney han sido aplicadas para generar las recomendaciones bioclimáticas de diseño (Roriz; Guisi; Lamberts, 2001).

Para esta división de zonas ha sido utilizada una base de datos climáticos de Brasil con datos de medias mensuales de: temperaturas máximas y mínimas y de humedad relativa del aire. Trescientas treinta ciudades han sido clasificadas o por

datos climáticos registrados en una década, o por interpolación de informaciones.(Walsh, Labaki, Costola, 2014).

Las estrategias de la carta psicrométrica adaptada son las siguientes (NBR 15220-3, 2005):

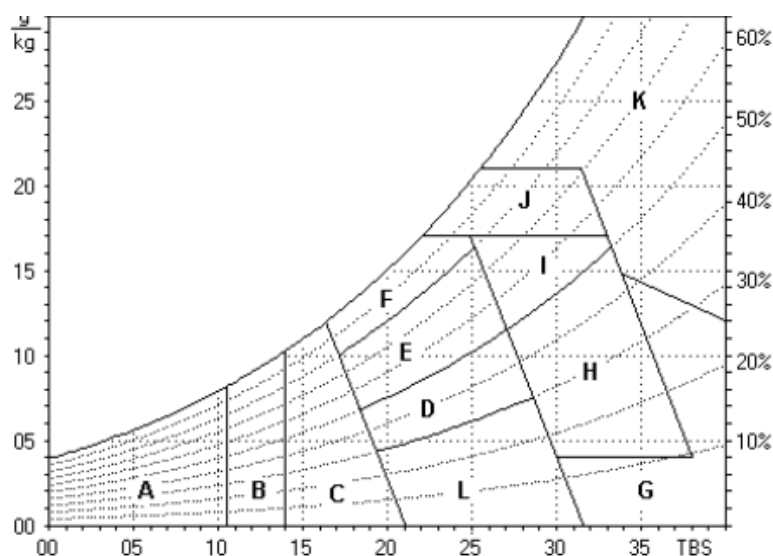


Fig. 119 Carta Bioclimática adaptada a partir de Givoni)Comfort,climate analysis and buiding design guidelines. Energy and Building, vol 18, July/92.

- A – zona de calentamiento artificial (calefacción);
- B – zona de calentamiento solar de la edificación;
- C – zona de masa térmica para calentamiento;
- D – zona de confort térmico (baja humedad);
- E – zona confort térmico pleno;
- F – zona de deshumidificación (renovación del aire);
- G + H – zona de refrigeración evaporativa;
- H + I – zona de masa térmica de refrigeración;
- I + J – zona de ventilación;
- K – zona de refrigeración artificial;
- L – zona de humidificación del aire.

La división de zona de la normativa sigue abajo, donde se puede verificar el porcentaje del territorio brasileño de cada una de las zonas. Para cada zona son establecidas directrices de diseño, basándose en la carta psicrométrica, para un mejor comportamiento térmico de los edificios en los ocho climas.

Al final de la normativa hay ejemplos de cerramientos con sus distintas características térmicas para ayudar al arquitecto a elegir la opción más adecuada.

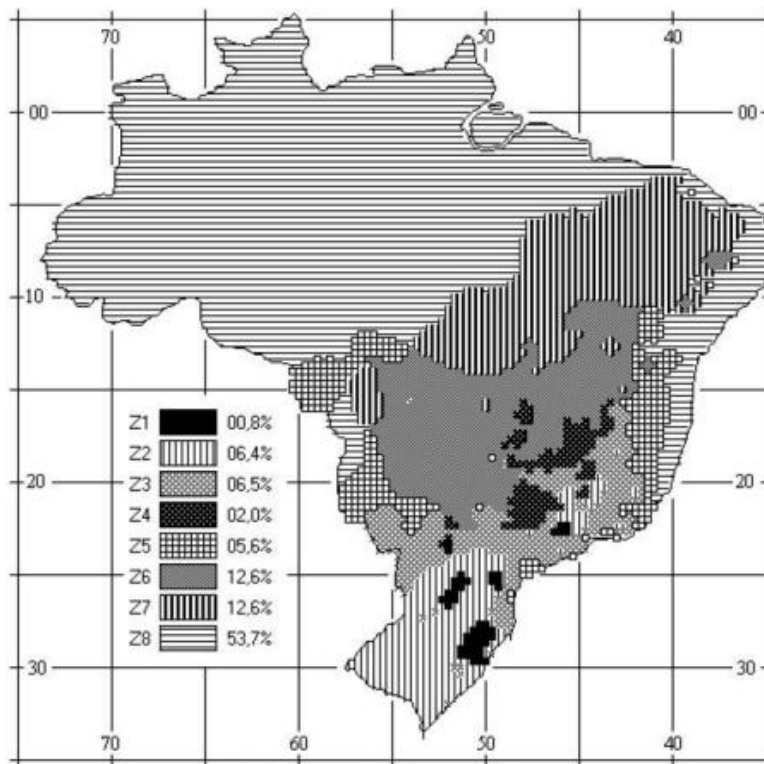


Fig. 120 División de zonas de la NBR 15220, parte 3 (ABNT, 2005)

El criterio mínimo de confort para verano establecido por esa normativa es que la temperatura máxima interior no pueda exceder la máxima temperatura exterior en locales de permanencia prolongada como habitaciones y salones.

Las directrices proyectuales recomiendan para cada zona:

- el tamaño de las aberturas para ventilación;
- la protección solar de las aberturas;
- los cerramientos exteriores (paredes y cubierta – con datos de transmitancia, retraso y factor solar);
- estrategias de acondicionamiento pasivo.

A continuación están los parámetros y condiciones de confort generales:


Cerramientos Exteriores


PAREDES	Transmitancia (W/m²K)	Retraso térmico (h)	Factor Solar (%)
Ligera	≤ 3,00	≤4,30	≤5,00
Ligera y reflectora	≤3,60	≤4,30	≤4,00
Pesada	≤2,20	≤6,50	≤3,50
CUBIERTAS	Transmitancia (W/m²K)	Retraso térmico (h)	Factor Solar (%)
Ligera Y aislada	≤ 2,00	≤3,30	≤6,50
Ligera y reflectora	≤ 2,30	≤3,30	≤6,50
Pesada	≤ 2,00	≤6,50	≤6,50

Tamaño de las Aperturas

	Tamaño de las aperturas
Pequeñas	10% < A. suelo < 15%
Medianas	15% < A. suelo < 25%
Grandes	A. suelo > 40%


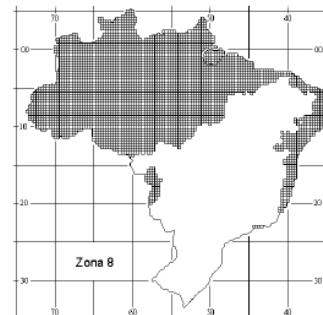
A continuación se presentan las distintas zonas con sus estrategias de diseño (ABNT, 2005)

ZB1			
Tamaño de las aperturas		Medianas (15%< A. suelo<25%)	
Superficies transparentes		Permitir sol en invierno	
Paredes exteriores		Ligeras	U≤3,00 W/m²K
			φ≤4,3h
			FS≤5%
Cubierta		Ligera y aislada	U≤2,00 W/m²K
			φ≤3,3h
			FS≤6,5%
Estrategia pasiva para invierno	Calentamiento solar Inercia térmica interna		
Estrategia pasiva para verano			
Ejemplo de ciudades	Curitiba, São Joaquim		
			

ZB2			
Tamaño de las aperturas		Medianas (15%< A. suelo<25%)	
Superficies transparentes		Permitir sol en invierno	
Paredes exteriores		Ligeras	U≤3,00 W/m²K
			φ≤4,3h
			FS≤5%
Cubierta		Ligera y aislada	U≤2,00 W/m²K
			φ≤3,3h
			FS≤6,5%
Estrategia pasiva para invierno	Calentamiento solar Inercia térmica interna		
Estrategia pasiva para verano	Ventilación Cruzada		
Ejemplo de ciudades	Bagé, Pelotas		
			

ZB3			
Tamaño de las aperturas		Medianas (15%< A. suelo<25%)	
Superficies transparentes		Permitir sol en invierno	
Paredes exteriores		Ligeras y reflectora	U≤3,60 W/m²K
			φ≤4,3h
			FS≤4%
Cubierta		Ligera y aislada	U≤2,00 W/m²K
			φ≤3,3h
			FS≤6,5%
Estrategia pasiva para invierno		Calentamiento solar Inercia térmica interna	
Estrategia pasiva para verano		Ventilación Cruzada	
Ejemplo de ciudades		São Paulo, Florianópolis	
			
ZB4			
Tamaño de las aperturas		Medianas (15%< A. suelo<25%)	
Superficies transparentes		Sombrear aperturas	
Paredes exteriores		Pesadas	U≤2,20 W/m²K
			φ≤6,5h
			FS≤3,5%
Cubierta		Ligera y aislada	U≤2,00 W/m²K
			φ≤3,3h
			FS≤6,5%
Estrategia pasiva para invierno		Calentamiento solar Inercia térmica interna	
Estrategia pasiva para verano		Ventilación Selectiva Refrigeración evaporativa + masa térmica	
Ejemplo de ciudades		Brasília, Ribeirao Preto	
			

ZB5		
Tamaño de las aperturas	Medianas (15%< A. suelo<25%)	
Superficies transparentes	Sombrear aperturas	
Paredes exteriores	Ligera y reflectora	$U\leq 3,60\text{W/m}^2\text{K}$
		$\varphi\leq 4,3\text{h}$
		$FS\leq 4\%$
Cubierta	Ligera y aislada	$U\leq 2,00\text{ W/m}^2\text{K}$
		$\varphi\leq 3,3\text{h}$
		$FS\leq 6,5\%$
Estrategia pasiva para invierno	Inercia térmica interna	
Estrategia pasiva para verano	Ventilación Cruzada	
Ejemplo de ciudades	Santos, Niteroi	
		
ZB6		
Tamaño de las aperturas	Medianas (15%< A. suelo<25%)	
Superficies transparentes	Sombrear aperturas	
Paredes exteriores	Pesada	$U\leq 2,2\text{ W/m}^2\text{K}$
		$\varphi\leq 6,5\text{h}$
		$FS\leq 3,5\%$
Cubierta	Ligera y aislada	$U\leq 2,00\text{ W/m}^2\text{K}$
		$\varphi\leq 3,3\text{h}$
		$FS\leq 6,5\%$
Estrategia pasiva invierno	Inercia térmica interna	
Estrategia pasiva para verano	Ventilación Selectiva Refrigeración evaporativa + masa térmica	
Ejemplo de ciudades	Campo Grande, Goiania	
		

ZB7		
Tamaño de las aperturas	Pequeñas (10%< A. suelo<15%)	
Superficies transparentes	Sombrear aperturas	
Paredes exteriores	Pesada	U≤ 2,2 W/m²K
		φ≤6,5h
		FS≤3,5%
Cubierta	Pesada	U≤2,00 W/m²K
		φ≤6,5h
		FS≤6,5%
Estrategia pasiva invierno		
Estrategia pasiva para verano	Ventilación Selectiva Refrigeración evaporativa + masa térmica	
Ejemplo de ciudades	Cuiabá, Petrolina	
		
ZB8		
Tamaño de las aperturas	Grandes (A > 40 % suelo)	
Superficies transparentes	Sombrear aperturas	
Paredes exteriores	Ligera y reflectora	U≤ 3,6 W/m²K
		φ≤4,3h
		FS≤4%
Cubierta	Ligera y reflectora	U≤2,30 W/m²K
		φ≤3,3h
		FS≤6,5%
Estrategia pasiva invierno		
Estrategia pasiva para verano	Ventilación Cruzada	
Ejemplo de ciudades	Rio de Janeiro, Salvador	
		

Igualmente la normativa NBR 15575 que trata de las edificaciones de hasta 5 pisos determina transmitancias y capacidad térmica que proporcionen por lo menos el comportamiento térmico mínimo establecido en cada zona para las paredes exteriores:

Valores máximos admisibles para transmitancia de paredes externas para cada zona:

Transmitancia térmica U (W/m ² K)		
Zonas 1 y 2	Zonas 3, 4,5, 6,7 e 8	
U ≤ 2,5	α ≤ 0,6	α ≤ 0,6
	U ≤ 3,7	U ≤ 2,5

Tabla 5. Transmitancias para paredes. Fuente: ABNT (2008)

Sin embargo, cuando trata de la capacidad térmica propone que las paredes externas tengan como mínimo 130 kJ/m² K, es decir, elementos un poco más pesados que ligeros.

Valores mínimos admisibles para capacidad térmica de paredes externas para cada zona:

Capacidad Térmica (CT) (kJ/m ² K) – watios	
Zona 8	Zonas 1,2,3,4,5,6 y 7
Sin exigencia	≥ 130

Tabla 6 Capacidades Térmicas. Fuente: ANBT, 2008

En el caso de paredes que tengan en su composición materiales aislantes térmicos de conductividad térmica inferior o igual que 0,065 W/mK y resistencia térmica mayor que 0,5 m²K/W, el cálculo de la capacidad térmica debe ser realizado despreciando todos los materiales exteriores al aislante o cámara de aire.

Para las cubiertas la normativa establece valores de transmitancia y absortividad a la radiación solar que proporcionen un buen comportamiento térmico para cada zona.

Transmitância térmica (U) W/m ² K				
Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 6		Zonas 7 e 8	
$U \leq 2,30$	$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$	$\alpha \leq 0,4$	$\alpha > 0,4$
	$U \leq 2,3$	$U \leq 1,5$	$U \leq 2,3 \text{ FT}$	$U \leq 1,5 \text{ FT}$
α é absorptância à radiação solar da superfície externa da cobertura. NOTA O fator de correção da transmitância (FT) é estabelecido na ABNT NBR 15220-3.				

Criterios de cubiertas cuanto a transmitancia térmica. Fuente: ANBT, 2008

Esta normativa establece también niveles mínimos de confort relativos a las temperaturas internas. Estos deben ser evaluados por simulación o medición según cada caso.

Siguen abajo la tablas de límites de confort y respectivamente los comportamientos: M = mínimo; I= intermedio; S= superior. Para mayor confort de los usuarios se recomienda los niveles I y S (ABNT, 2008).

Nivel de requerimiento	Criterio	
	Zonas bioclimáticas 1 a 5	Zonas bioclimáticas 6,7 y 8
M	$T_{i \min} \geq (T_{e \min} + 3^{\circ}\text{C})$	En estas zonas, este criterio no precisa ser verificado
I	$T_{i \min} \geq (T_{e \min} + 5^{\circ}\text{C})$	
S	$T_{i \min} \geq (T_{e \min} + 7^{\circ}\text{C})$	
T i min – valor mínimo diario de la temperatura del aire interior, °C		
T e min – valor mínimo diario de la temperatura del aire exterior, °C		

Tabla 7. Requerimientos invierno. Fuente: ABNT, 2008.

Nivel de requerimiento	Zonas 1 a 7	Zona 8
M	$T_{i \max} \leq T_{e \max}$	$T_{i \max} \leq T_{e \max}$
I	$T_{i \max} \leq (T_{e \max} - 2^{\circ})$	$T_{i \max} \leq (T_{e \max} - 1^{\circ})$
S	$T_{i \max} \leq (T_{e \max} - 4^{\circ})$	$T_{i \max} \leq (T_{e \max} - 2^{\circ})$

Tabla 8 . Requerimientos verano. Fuente: ABNT, 2008.

3.3 Radiación solar en la superficie de Brasil

En este momento se tratará de la radiación solar, la variable climática que más tiene influencia sobre las fachadas ventiladas. Es muy importante conocer cómo la radiación solar incide en las fachadas en Brasil, principalmente en se tratando de cantidad y horas de sol.

La radiación solar es la energía transmitida por el sol (motor de todo el sistema de vida en la tierra) bajo la forma de ondas electromagnéticas, es a la vez un factor y una característica macroclimática en la que la dirección de incidencia depende de los movimientos relativos de la tierra y el sol (Serra , Coch, 2001).

El tipo de radiación que se recibe del sol se distribuye en una amplia zona del espectro electromagnético, preferencialmente se encuentran 3 tipos: ultravioletas, visible e infrarrojo.

Todo el conjunto de radiaciones inciden sobre los límites exteriores de la atmósfera terrestre con un valor aproximado de irradiación de 1400 W/m^2 que se llama valor de constante solar. Para llegar a la tierra, esta radiación debe atravesar unos 8 km de aire, con lo que disminuye considerablemente el flujo energético, con la difusión, absorción, difracción y refracción que se produce en la masa de aire. (Serra, Coch, 2001).

La cantidad de radiación que llegará a cada sitio del globo depende de la latitud, de la estación y de la hora del día. Brasil está localizada en una franja bastante amplia de latitudes: $5^{\circ}16'N$ y $33^{\circ}45'S$. Según Fitch (apud Romero, 2001) el principal factor geográfico viene determinado por la latitud, una vez que su distancia a partir de la línea del Ecuador determina la cantidad de energía solar que cada punto recibirá.

Al final la radiación recibida en una superficie determinada es el resultado de diversos componentes: radiación directa del sol (pocas nubes) , radiación difusa del cielo (muchas nubes), radiación reflejada en el terreno (albedo). La cantidad directa depende mucho del tipo de clima, si es más seco (caso del Brasil central) tiene menos nubes y tendrá mayor cantidad directa, si es más húmedo recibe más radiación difusa (caso del norte del país).

Existen ábacos y tablas que informan los valores típicos de la radiación en una latitud determinada y que presentan diferentes valores según el ángulo de incidencia sobre las superficies. Entre estos están las tablas que presentan la energía incidente sobre el plano horizontal y vertical en distintas orientaciones.

Según Serra y Coch (2001) en realidad la radiación total que puede recibir un plano orientado en diferentes direcciones siempre será la suma de la posible

radiación directa, más la difusa de la bóveda celeste, y finalmente, de la que proviene de las reflexiones que se producen en el suelo.

En síntesis la mayor parte del territorio brasileño está localizada relativamente próxima de la línea del Ecuador, de forma que no se observan grandes variaciones en la duración solar del día. A continuación se presentan los mapas de cantidad de horas de sol en verano e invierno.

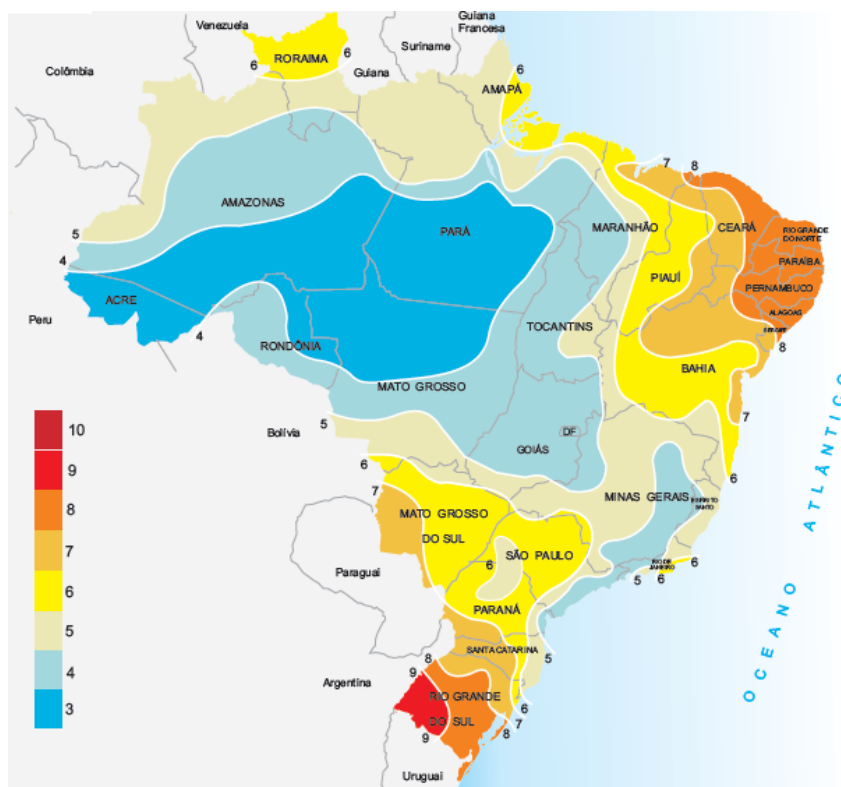


Fig. 121 Horas de sol diarias (media mensual) en horas, verano. Fuente: ATLAS Solarimétrico do Brasil. Recife : Editora Universitária da UFPE, 2000

Como se puede observar en el mes de diciembre (principios de verano) es un mes muy húmedo en la región norte del país, con mucha nubosidad, por esta razón la cantidad de horas de sol es tan pequeña. Por otra parte, la región sur y la noreste son las que más horas de sol reciben, alcanzando de 8 a 9 horas de sol diarias.

Ya en el invierno (mes de junio) se observa que la zona central es la que recibe más horas de sol, 9 horas diarias, la región sur (la que efectivamente tiene invierno) baja mucho la cantidad de horas debido a su latitud mayor y por consiguiente, menos horas de sol, de 4 a 5 diarias.

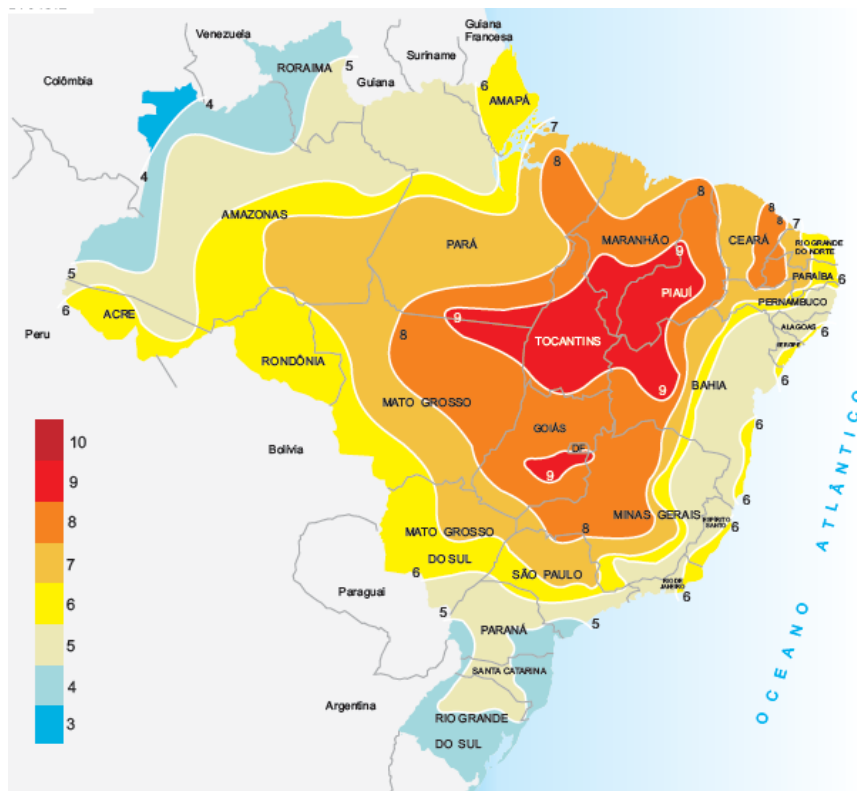


Fig. 122 Horas de sol diarias (media mensual) en horas, invierno. Fuente: ATLAS Solarimétrico do Brasil. Recife : Editora Universitária da UFPE, 2000

Abajo se muestra la media de cantidad de horas anual del país. Hay que hacer notar que la región norte en general es muy húmeda y nublada, por esta razón presenta la menor cantidad de horas de sol, ya la región centro-noreste es la más árida y por esto presenta la mayor cantidad de horas de sol.

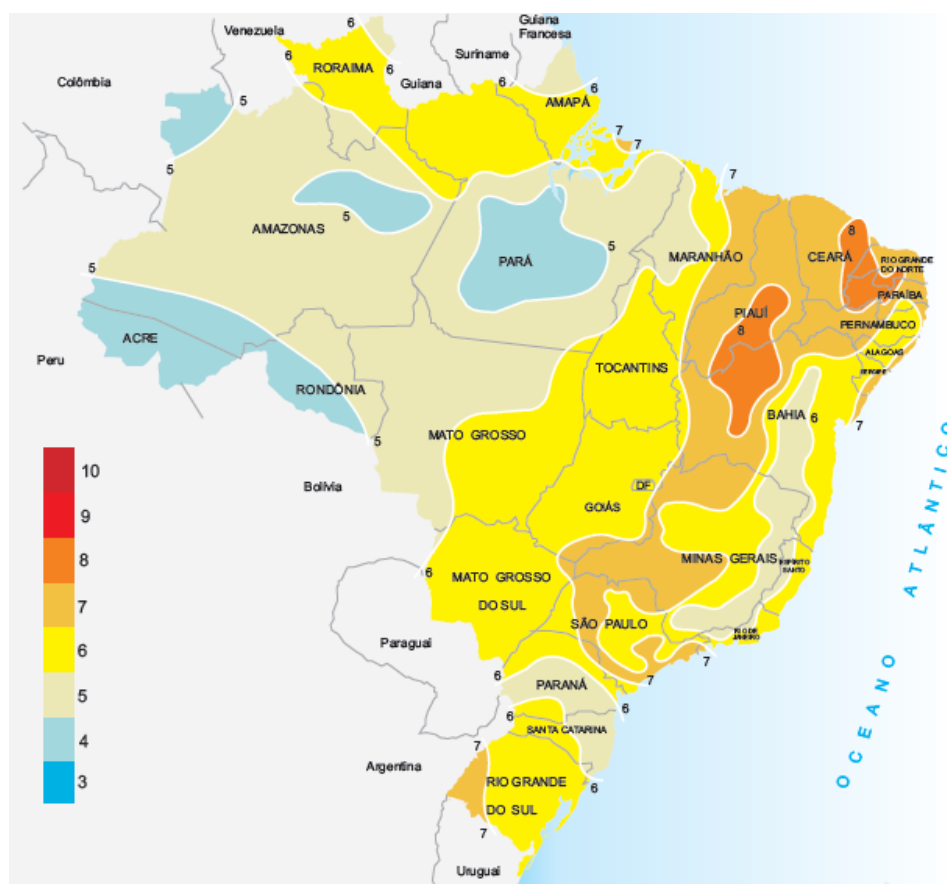


Fig. 123 Media anual de horas de sol diárias. Fuente: ATLAS Solarimétrico do Brasil. Recife : Editora Universitária da UFPE, 2000

Igualmente se observan los datos de cantidad de radiación solar (MJ/m^2 día) en diciembre y junio.

En diciembre la mayor cantidad de radiación está en la región sur ($24 \text{ MJ}/\text{m}^2$ día) y noreste ($22 \text{ MJ}/\text{m}^2$ día) y la menor en la región norte ($16 \text{ MJ}/\text{m}^2$ día). En junio la mayor cantidad está en la región noreste ($20 \text{ MJ}/\text{m}^2$ día) y la menor en la región sur ($8 \text{ MJ}/\text{m}^2$ día).

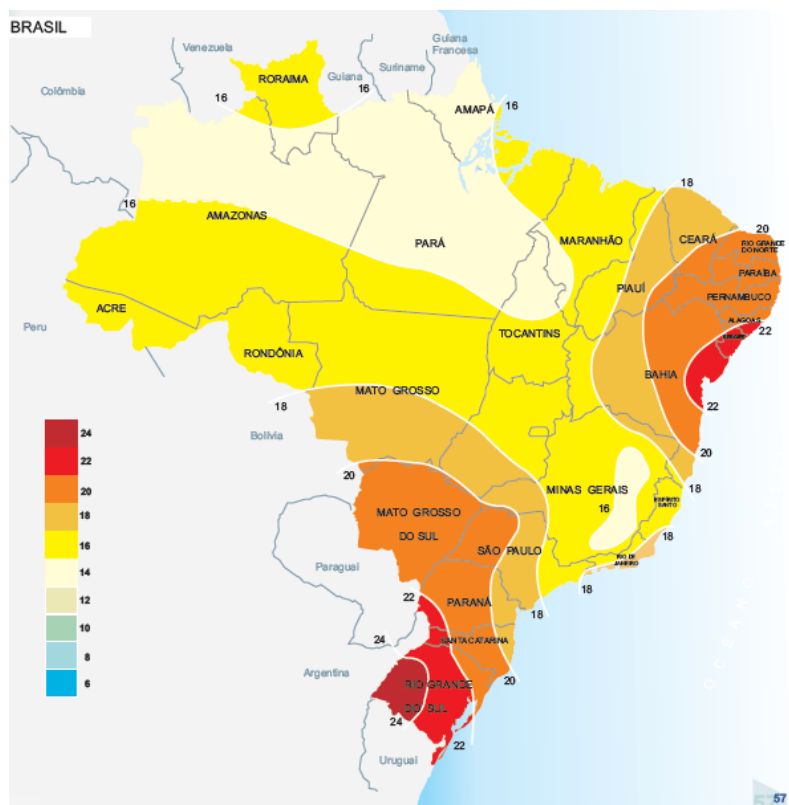


Fig. 124 Mapa de radiación solar global diaria. Media mensual.(MJ/m² día) en diciembre-verano.
Fuente: ATLAS Solarimétrico do Brasil. Recife : Editora Universitária da UFPE, 2000.

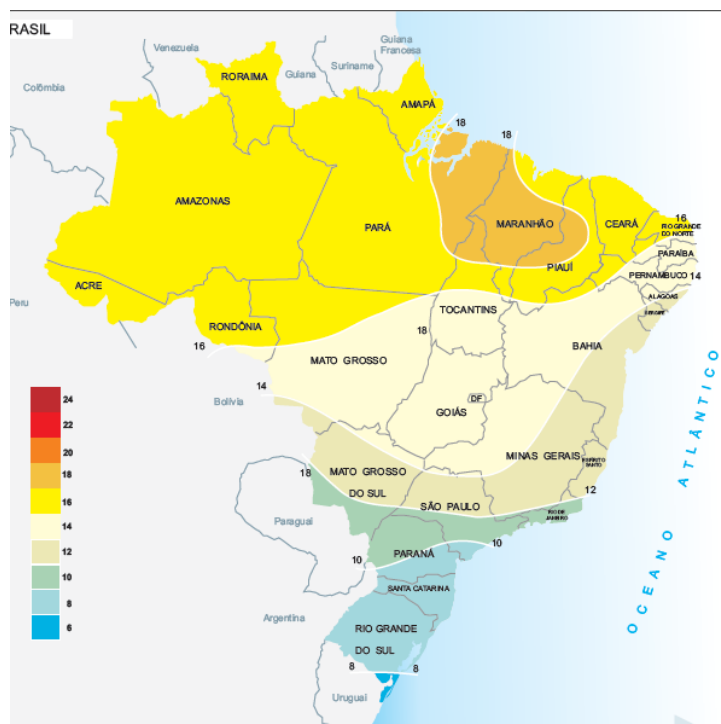


Fig. 125. Mapa de radiación solar global diaria. Media mensual.(MJ/m² día) en junio-invierno
Fuente: ATLAS Solarimétrico do Brasil. Recife : Editora Universitária da UFPE, 2000.

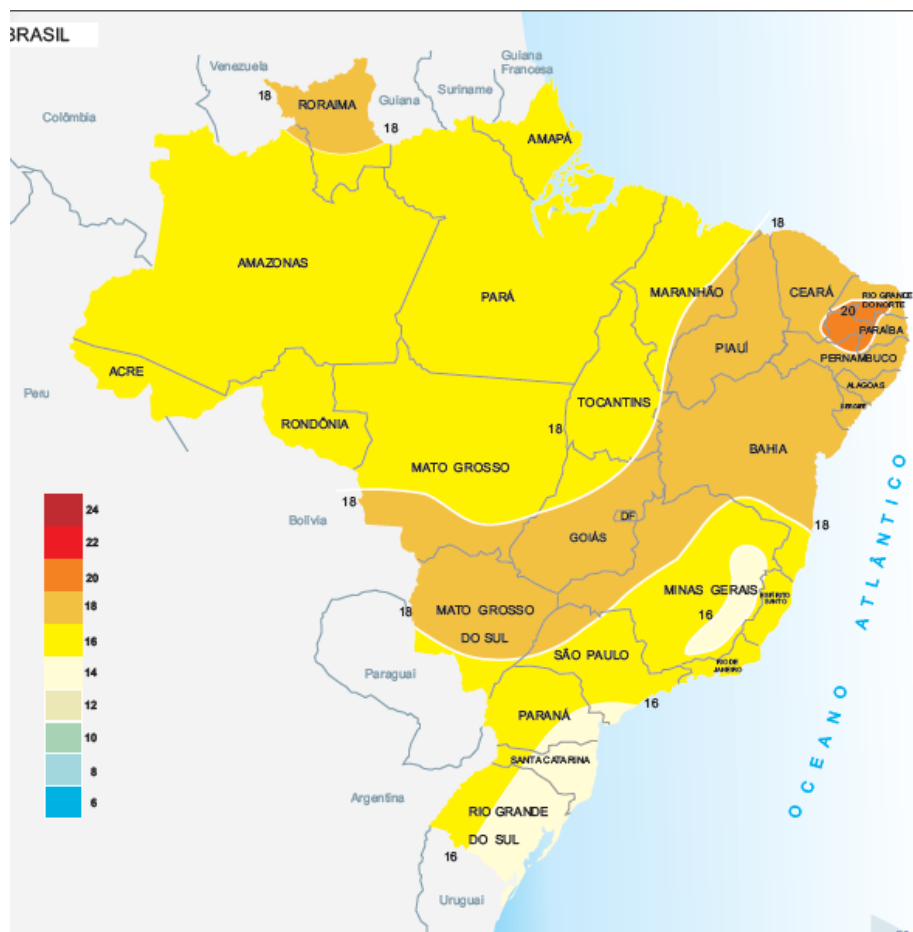


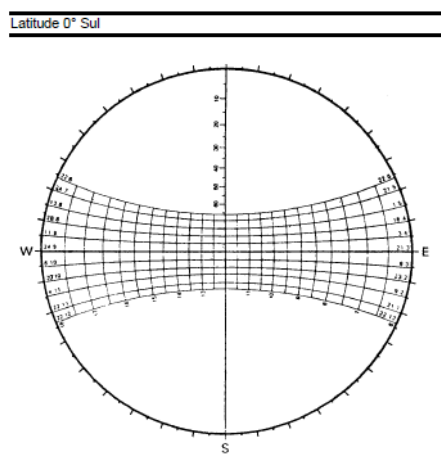
Fig. 126 Mapa de radiación solar global diaria. Media anual(MJ/m² día)

Fuente: ATLAS Solarimétrico do Brasil. Recife : Editora Universitária da UFPE, 2000.

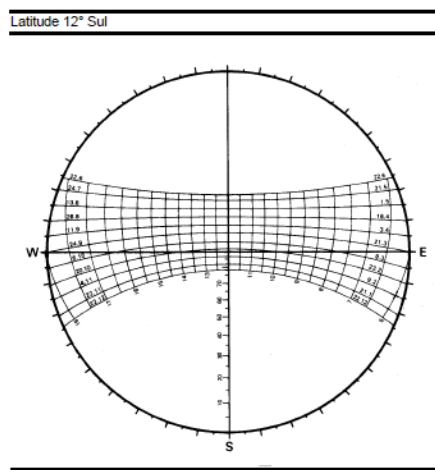
Los mapas presentados muestran las diferencias de distribución de radiación en invierno y verano. Pese a las diferentes características climáticas observadas en Brasil, se puede observar que la media anual de irradiación global presenta buena uniformidad, con medias anuales relativamente altas en todo el país. El valor máximo de irradiación global – 6,5 kWh/m² – ocurre en el norte de la provincia de Bahia, cerca de la frontera con la provincia de Piauí (región noreste). Esta área presenta un clima semi-árido con baja precipitación a lo largo del año (aproximadamente 300mm/año) y la media anual de nubosidad más baja de Brasil. La menor irradiación global – 4,25kWh/m² – ocurre en el litoral de la provincia de Santa Catarina (región Sur) caracterizada por la pluviosidad equilibrada a lo largo del año. Los valores de irradiación solar global incidente en cualquier región del territorio brasileño van desde 4200 hasta 6700 kWh/m².

Es necesario también observar como incide el sol en el territorio, esto se puede hacer a través de las cartas solares. La carta solar es un gráfico que representa la trayectoria aparente del sol durante todo el año, vista desde un plano horizontal.

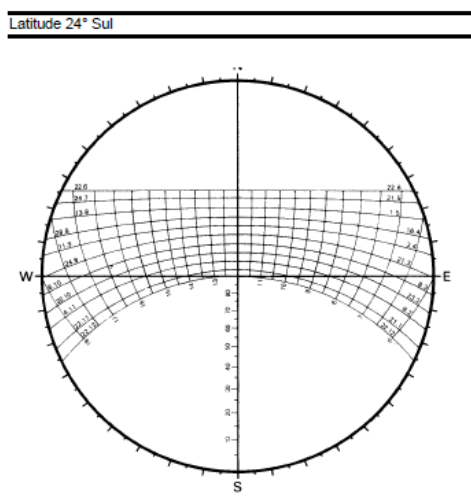
Como el sol incide de forma distinta dependiendo de la latitud, hay un dibujo diferente de carta solar para cada latitud de la tierra. A continuación se presentan las diferentes cartas solares para las distintas latitudes de Brasil.



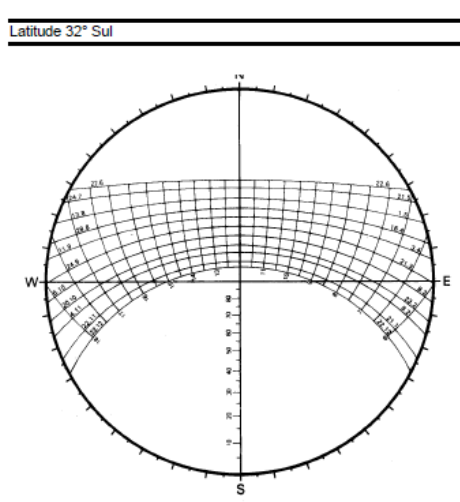
Carta solar para la latitud 0°
Belém 01°27'27" S



Carta Solar para la latitud 12°Sur
Salvador 12°58'16" S



Carta solar para la latitud 24° Sur
São Paulo 23°32'51" S



Carta Solar para la latitud 32°Sur
Bagé 31°19'53" S

Fig. 127 a 130. Cartas solares de diferentes latitudes. Fuente: Frota; Schiffer, 2001

A diferencia de Europa, que está en el hemisferio norte, la fachada que recibe más horas de sol en las latitudes de 12° hasta 32° Sur es la fachada norte. En estas latitudes prácticamente no hay incidencia solar en la fachada sur (muy poca cantidad en verano). Por otro lado, en latitudes menores cerca del ecuador el sol incide casi que igualmente en la fachada norte y la fachada sur.

Es importante observar que en casi todas las latitudes del país el sol tiene 90° de altura solar¹² en verano, es decir, pasa por el zenit y muchas veces, como es el caso de latitudes cerca del ecuador, sus movimientos están muy cerca del zenit todo el año.

3.3.1 La incomodidad térmica causada por la asimetría de radiación en los climas cálidos

Este apartado tiene como objetivo entender como la energía radiante mal distribuida en el ambiente interno puede contribuir con la incomodidad térmica de los usuarios. Este fenómeno ocurre muchas veces en Brasil porque la mayoría de las construcciones están ejecutadas con ladrillo simple y la radiación solar, como se ha mencionado, es intensa.

Generalmente, el malestar térmico local se puede clasificar en algunas de estas 4 categorías:

1. El enfriamiento local del cuerpo por convección ocasionado por el turbulencias.
2. El enfriamiento o calentamiento por la radiación de zonas del cuerpo. Esto es conocido como un problema de asimetría de la radiación.
3. Los pies fríos y la cabeza caliente al mismo tiempo, ocasionado por una gran diferencia vertical de temperatura del aire.
4. Los pies calientes o fríos, ocasionados por una temperatura incómoda del suelo.

Según Lamberts (2014) el campo de radiación térmica sobre el cuerpo no es siempre uniforme debido a las superficies calientes o frías, y a la incidencia de la luz

¹² Altura solar é definida como el ángulo formado por el sol y el plano horizontal de la dirección de los rayos solares. (Bittencourt, 2000)

solar. Esta asimetría puede causar incomodidad térmica local y reducir la aceptabilidad térmica de espacio. La asimetría de radiación térmica puede ser causada por las ventanas frías sin aislar, los hornos, las superficies de los quemadores, el calor generado por las máquinas y otros. Cuando se expone a alguna de estas condiciones, una persona puede tener una parte de su cuerpo afectadas por la radiación diferente de los demás, y por lo tanto, cuanto mayor es esta diferencia, mayor discomfort produce sobre los usuarios del espacio.

Como afirma Kvisgaard (1997) para describir esta falta de uniformidad térmica del campo de radiación se utiliza el parámetro de Asimetría de Temperatura Radiante ($D t_{pr}$). Este parámetro se define como la diferencia de Temperatura Radiante Plana (t_{pr}) entre las dos caras opuestas de un elemento pequeño plano.

Los experimentos con personas expuestas a diferentes grados de asimetría de temperatura radiante han demostrado que los techos calientes y las ventanas frías pueden ser la causa de una elevada incomodidad, mientras que los techos fríos y las paredes calientes causan una incomodidad menor. Durante estos experimentos todas las otras superficies y el aire se mantuvieron a la misma temperatura

En resumen diversas investigaciones (Kvisgaard, 1997: NTP 501, España, ASHRAE 55 2010, Djongyang et al , 2010: INNOVA, 2015) llegan a la conclusión que la asimetría de radiación causa incomodidad térmica a los usuarios y son más molestos en orden decreciente: techos calientes, paredes frías, techos fríos y paredes calientes. Las paredes calientes, tema de esta tesis, necesitan tener una asimetría de radiación alta para que los usuarios sientan discomfort en el interior del espacio.

Las superficies calientes provocan una sensación de mayor temperatura sobre los usuarios, teniendo una sensación térmica de calor. Esto puede provocar un aumento del consumo energético ya que el usuario al sentir calor tenderá a disminuir la temperatura de la climatizadora o del aire acondicionado.

En los edificios donde la envolvente no posee aislamiento térmico, la temperatura de la superficie interior de las paredes del edificio se ve afectada de las condiciones ambientales externas, especialmente la radiación solar. Por lo tanto, las temperaturas de la superficie interior de estas paredes aumentan rápidamente y cómo consecuencia la sensación térmica de las personas se ve.

Otro problema muy común a estos tipos de edificaciones sin aislamiento térmico, caso de la mayoría de los edificios de Brasil, es que las paredes que recibieron la radiación solar durante el día, especialmente por la tarde, tienden a irradiar este calor hacia dentro durante horas, la sensación de asimetría de radiación dentro del ambiente es sentida fuertemente principalmente en ambientes de permanencia.

Aunque una persona tenga una sensación de neutralidad térmica en general, puede tener partes del cuerpo en condiciones de incomodidad térmica. Este malestar térmico local no se puede evitar elevando o disminuyendo la temperatura del local. Es necesario eliminar la causa de la asimetría (Kvisgaard, 1997). Esta causa en los países tropicales muchas veces es el sol.

La tabla siguiente muestra el porcentaje de ocupantes insatisfechos debido al calentamiento o enfriamiento de paredes y techos.

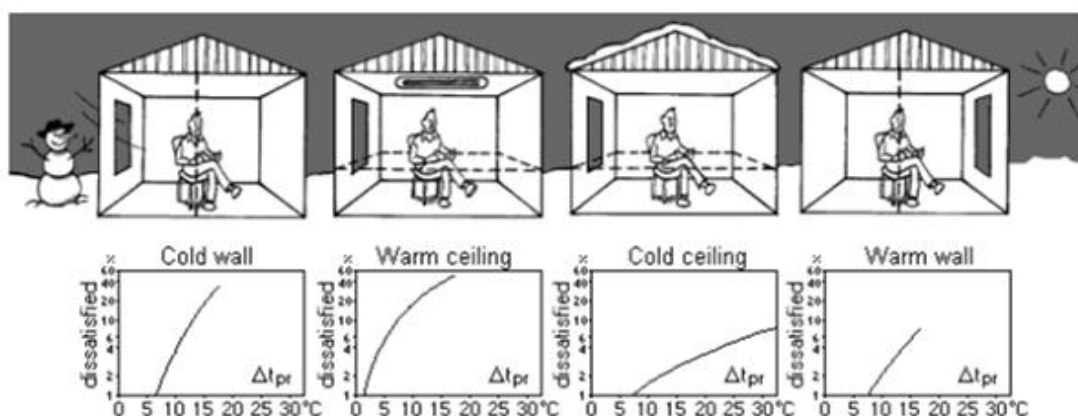


Fig. 131 Asimetrías de radiación dentro de los ambientes. Fuente: KVISGAARD, 1997

A continuación se muestran los valores de asimetría permitida (ASHRAE 55/2010). Se observa que el mayor problema de incomodidad ocurre con los techos calientes y el menor con las paredes calientes.

Asimetría en temperatura radiante °C			
Techo caliente	Pared Fría	Techo frío	Pared caliente
< 5	< 10	< 14	< 23

En conclusión el tema de la asimetría de la radiación en paredes es el que menos se convierte en incomodidad térmica de los usuarios, sin embargo no puede

ser olvidado en el tema de las fachadas en climas cálidos y países en desarrollo como Brasil.

3.3.2 Utilización de las barreras radiantes en climas cálidos

Uno de los objetivos de esta tesis es probar la eficiencia de barreras radiantes en fachadas ventiladas. Así se hace necesario un estudio con más profundidad sobre este elemento.

Tradicionalmente “aislar térmicamente” se asocia a la utilización de materiales conocidos como aislantes “resistivos”, que reducen la transferencia de calor por conducción.

Entre los aislantes resistivos tradicionales se encuentran las mantas y paneles constituidos de fibras minerales o fibras orgánicas flexibles, las espumas plásticas rígidas de poliuretano, las lanas minerales entre otros. La resistencia térmica de estos materiales es debida principalmente a la gran cantidad de aire presente entre las fibras o confinada en las pequeñas celdas formadas en el proceso de expansión de las espumas y de los aislantes. (Vittorino, Sato, Akutsu, M., 2003)

Otra forma de reducir las ganancias de calor en la cubierta y las paredes exteriores es disminuir la absorción de la energía solar por el uso de materiales de alta reflectancia en su cara exterior o reducir la cantidad de energía térmica de onda larga irradiada para el interior de los ambientes con el empleo de materiales de baja emisividad.

Una “barrera radiante” es una superficie reflectante de baja emisividad como lo define el ASTM (American Society for Testing and Materials) en donde la emisividad es 0.10 o menos, y se posiciona cerca de un componente de construcción que intercepta el flujo de energía radiante hacia el componente de construcción o desde éste.

Las barreras radiantes funcionan mediante la reducción de la transferencia de calor por radiación. El desempeño térmico, o la reducción de la transferencia de calor radiante, es directamente proporcional a la emisividad de superficie del material de la barrera radiante. Las mediciones de emisividad de todos los materiales están dentro de una gama comprendida entre los valores cero (0), transferencia nula de calor radiante, y uno (1), para una superficie negra, con transferencia completa de calor radiante. Los materiales comunes de construcción, tales como la madera, la

mampostería y el aislamiento de fibra de vidrio, tienen emisividades superficiales de aproximadamente 0,85, y por consiguiente tienen altas tasas de transferencia de calor radiante. Los productos definidos como barreras radiantes tienen emisividades de superficie menores o iguales a 0,1, lo que significa bajas tasas de transferencia de calor radiante.

La emisividad de los materiales es debida a sus características superficiales, una vez que en la mayoría de los sólidos, la radiación emitida por las moléculas de su interior es absorbida por las moléculas a ella adyacentes, siendo que sólo la energía emitida por las moléculas localizadas a $1\text{ }\mu\text{m}$ de la superficie del material es la que deja efectivamente el cuerpo (INCROPERA, 1998 apud Vittorino, Sato, Akutsu, M., 2003)

Algo similar ocurre con la absorción/reflexión de la radiación incidente, es decir, la parcela de energía incidente que es absorbida queda contenida en las capas moleculares más externas del material.

La absorción de la radiación térmica en la superficie de los materiales es función de la cantidad de electrones libres presentes (MODEST, 1993 apud Vittorino, Sato, Akutsu, M., 2003). En los materiales conductores de electricidad como los metales, hay una gran cantidad de electrones libres que hacen con que sea reflejada gran parte de la energía térmica incidente, resultando en pequeña absorción y por lo tanto pequeña emisión de energía térmica. En los materiales no conductores, hay pocos electrones libres y la absorción de la energía térmica se hace en gran cantidad en el retículo estructural del material. El estudio detallado de la interacción entre la radiación térmica y la materia es el tema de la teoría electromagnética y la física cuántica.

Las normativas internacionales distinguen entre dos sistemas utilizados para reducir los intercambios de calor radiantes: el aislamiento reflectivo y barreras radiantes. Esta clasificación es lo suficientemente amplia como para incluir las pinturas reflectantes y materiales con baja emisión de radiación térmica de onda larga. Sin embargo, las pinturas reflectantes normalmente no se contemplan en conjunto con materiales de baja emisión de radiación que tienen las características específicas de revestimientos, tales como "poder de cobertura", "rendimiento en la aplicación", etc. En esta tesis se adoptará las definiciones propuestas por ASTM que tratan sólo de los productos con baja emisión de radiación térmica. El país que

cuenta con un mayor número de normas en este sector es los EE.UU. (ASTM C 1158; ASTM C 1313-00; ASTM C 1224-01; ASTM C 727).

Los productos aislantes reflectantes se incorporan en cámaras sin ventilación con dimensiones y forma definidos confinados por al menos un material de baja emisividad. Ejemplos son los paneles metálicos huecos. Ya las barreras radiantes son de un material de baja emisividad posicionado en el elemento de construcción por lo que se enfrenta a un "entorno" que puede ser el espacio en el ático, con o sin ventilación, o recintos habitables.

La evaluación del desempeño de barreras radiantes se puede hacer a través de la simulación por ordenador (ASTM C 1340-99) o mediciones a escala real. El material comúnmente empleado en las barreras radiantes es el aluminio pulido en forma de láminas delgadas con un espesor de 6 a 8 μm , cuya emisividad es menos de 0,1. Debe quedar claro que aunque la barrera radiante reduce la pérdida de calor a través de la envolvente de la construcción porque se instala en cavidades abiertas (como áticos o paredes ventiladas), no es un material aislante en sí mismo y no tiene un valor R inherente.

Su objetivo es que las ganancias térmicas disminuyan en verano y que se reduzcan las pérdidas de calor en invierno.

Cómo funcionan las Barreras Radiantes?

Es importante entender la simplicidad de cómo funcionan las barreras radiantes y sus aplicaciones en la construcción residencial. El calor siempre viaja desde una superficie más cálida hacia otra más fría y su método de viaje es a través de la radiación, convección y conducción. En un edificio cuando el sol golpea las superficies de la envolvente hay un aumento de la temperatura. Los materiales que componen el edificio son a menudo reflectores pobres, emisores o re-irradian de 85 a 90% de la energía solar entrante. Materiales oscuros absorben hasta un 95% de la ganancia de calor solar entrante. Las temperaturas de la superficie radiante de las paredes y techos tienen una influencia directa sobre el nivel de confort de los ocupantes y el aumento de los costes de energía. Por lo tanto, una película de pulido de aluminio, componente principal de un sistema de barrera radiante, en comparación con una superficie oscura, sólo emite 3% a 5% de toda la energía

radiante de su superficie. Así, las barreras radiantes pueden bloquear 95% a 97% del flujo de calor radiante.

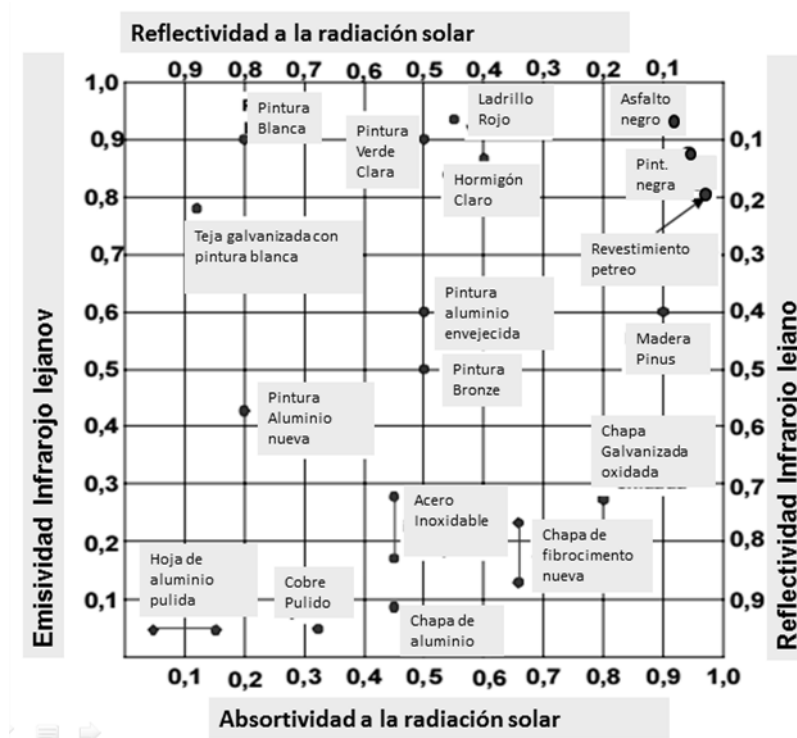


Fig. 132 Diferentes emissividades de los materiales . Fuente: Desempenho térmico de isolantes refletivos e barreiras radiantes aplicados em coberturas Vittorino; Sato; Akutsu, 2003

Por sus características superficiales la barrera radiante es superior a otros tipos de materiales aislantes en reducir el calor radiante. Sea que se enuncie como reflectividad o emisividad, el desempeño en transferir calor es el mismo. En todos los casos, el material reflectivo debe ser adyacente a un espacio con aire.

En climas cálidos y con alta incidencia de radiación solar como Brasil, el uso de las barreras radiantes es muy extendido en las cubiertas, parte de la envolvente que más recibe radiación solar en estas latitudes.

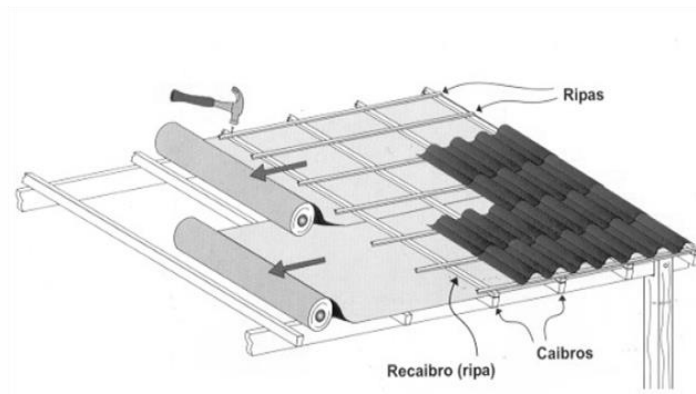


Fig. 133 Barrera radiante en la cubierta (PENTAK,2003 apud DARÉ, 2003)

En una investigación a través de mediciones Daré, Targa e Isa (2005) han identificado una reducción de 68,6% del flujo de calor que entra en el edificio a través de la cubierta. También hubo una reducción de la temperatura debajo del tejado de aproximadamente 7°C.

Michels (2007) también observa que sus resultados permitieron confirmar que las barreras radiantes son eficaces para reducir la transmisión de calor al interior del edificio. Mientras que algunas mantas lograron una buena eficiencia, otras no han logrado la eficiencia esperada, lo que demuestra que muchas barreras radiantes no presentan la característica principal de una barrera radiante: baja emisividad. Otro punto importante en esta investigación ha sido comprobar que la presencia de polvo en la barrera disminuye su eficiencia (en casos como la fachada ventilada este acumulo de polvo es más pequeño debido a su posición vertical). También hubo reducción significativa de la temperatura debajo de las tejas.

Vittorino, Sato,y Akutsu (2003) han demostrado que la inserción de una barrera radiante puede reducir en unos 85% el flujo e calor por el tejado en Brasil.

En resumen, las barreras radiantes en cubiertas ya han sido muy estudiadas en los climas de Brasil y ha sido comprobada su eficiencia en la disminución del flujo de calor. Ahora bien hace falta estudiar su comportamiento en cerramientos verticales como las fachadas ventiladas, que por su configuración constructiva puede facilitar la instalación de dicho elemento.

4. EL MODELO DE SIMULACIÓN

4.1 Simulación energética de edificios

Los primeros programas de simulación en ordenador surgieron en la década de 1970, en medio de la crisis energética, motivados por la necesidad de probar alternativas para edificios con un impacto menor energía. La evolución de la tecnología de la información en las décadas subsecuentes permitió la mejora de los programas para ayudar a la elaboración de proyectos.

Para Clark (2001) las herramientas de simulación representan un cambio de paradigma en el proceso de concepción del proyecto. La simulación surge para satisfacer la deficiencia de estudios de consumo energético en las fases iniciales de proyecto y de intervenciones en los edificios existentes. La complejidad de las interacciones presentes en los edificios (como flujo de energía y ocupación de los usuarios), añadida a la necesidad de retorno rápido de costes y del comportamiento de diferentes alternativas de diseño son incentivos a su aplicabilidad práctica.

La simulación energética permite calcular el comportamiento del edificio a través de la evolución de las principales variables de clima, energía y habitabilidad, considerando todos los parámetros físicos que lo componen (forma y orientación, fachada, cerramiento, etc.). La simulación energética contribuye a evaluar y optimizar:

- los niveles de bienestar térmico (temperatura radiante, operativa...) y bienestar lumínico (factor de luz diurna, riesgo de deslumbramiento...). En edificios sin climatización es fundamental tener acceso a estos datos para una evaluación completa del proyecto.
- el comportamiento de las características constructivas de la envolvente térmica del edificio (geometría, orientaciones, inercia térmica, aislamiento térmico, acristalamiento, estrategias de protección solar...)
- las instalaciones de climatización, iluminación, ACS, energías renovables, etc.
- el cumplimiento normativo y la certificación de eficiencia energética de los edificios;

- el aprovechamiento potencial de la ventilación natural, la disposición de aperturas, el efecto chimenea, la ventilación cruzada.

En los días actuales para realizar estudios que ayuden a minimizar los costes energéticos asociados al uso de los edificios es muy importante la utilización de sistemas de simulación ya que permiten realizar muchos casos, en poco tiempo y con menos recursos económicos.

Para simular el comportamiento de un edificio se pueden utilizar varios métodos:

- Métodos estáticos
- Métodos de correlación
- Métodos dinámicos

Los más interesantes para el estudio de esta tesis son los métodos dinámicos, ya que aunque son los de mayor complejidad, también son los que presentan mejores resultados. Los métodos dinámicos requieren de una definición exhaustiva del edificio, además de una resolución a tiempos de paso cortos del sistema de ecuaciones planteado.

Para los métodos dinámicos existen gran cantidad de modelos, entre los más conocidos están el S3PAS[®], SUNCODE[®], APACHE[®], PASSPORT+[®], TRNSYS[®], M2M[®], DOE[®], EnergyPlus[®]... Todos ellos presentan ventajas e inconvenientes, pero lo que es común en todos ellos es que presentan un manejo laborioso, tanto en entradas como en salidas de datos. Esto es así no por un mal diseño del programa, sino que se debe a que necesitan la entrada de una gran cantidad de información (Hinojosa Alcántara, 2012).

Por lo general, todos estos modelos de simulación se componen de tres grandes cuerpos por los cuales es necesario pasar para obtener un sistema completo:

- La definición geométrica, constructiva y operacional del edificio y sus sistemas.
- El bloque de simulación, en donde se plantea y resuelve el sistema de ecuaciones que representan al edificio. Esta parte está íntimamente relacionada con la definición previa.

- Por último el bloque de análisis de resultados, en donde se pueden obtener diferentes niveles de información, dependiendo de los objetivos a cumplir.

4.2 El software: TRNSYS®

TRNSYS® -TRaNsient SYstem Simulation (Klein *et al.*, 1997) es un programa de simulación de sistemas que contiene una estructura modular que reconoce un lenguaje de descripción de un sistema en que el usuario especifica los componentes que constituyen el sistema y la manera en que ellos serán conectados. Es un programa modular que permite modelar varios tipos de sistemas energéticos, incluyendo análisis de climatización (HVAC), análisis de flujos de aire multi-zona, simulación de potencia eléctrica, diseño solar, comportamiento térmico de edificios, análisis de sistemas de control, etc.

TRNSYS® es constituido de procedimientos para detallar y analizar cualquier sistema cuyo comportamiento varía con el tiempo.

A través de un lenguaje propio, los componentes son conectados de manera similar a un circuito electrónico, la conexión se realiza por medio de tuberías, válvulas y ductos como ocurre en un sistema real. El programa realiza las soluciones simultáneas necesarias de las ecuaciones algébricas y diferenciales que representan los componentes y también realiza la organización de los datos de entrada y salida.

Este programa ha pasado por evaluación con el BESTEST (Building Energy Simulation TEST), un método para probar, diagnosticar y validar las capacidades de programas de simulación energética en edificios. El mayor problema que presentan estos tipos de programas, es la falta de una validación rigurosa de los códigos. Los resultados obtenidos por los modelos de simulación deben de ser comprobados y verificados para demostrar su fiabilidad. En este sentido tal vez el esfuerzo más importante sea el desarrollado por la IEA (Internacional Energy Agency) en la que se han considerado varios modelos de simulación y se ha realizado una comparación sistemática entre ellos, definiendo varios tipos de edificio, y obteniendo resultados de diversa índole (cargas de demanda, consumo, temperaturas, etc.). Así se creó el BESTEST. En la siguiente tabla se enumeran los programas que han superado el BESTEST. (Hinojosa Alcántara, 2010)

Software	Organización autora del programa informático	Test implementado por
BLAST-3.0 level 193 v.1 (BLAST)	CERL (Civil Engineering Research Laboratory), Estados Unidos (EE.UU.)	NREL (National Renewable Energy Laboratory), EE.UU.
DOE2.1D 14 (DOE2)	LANL/LBL (Los Alamos National Laboratory / Lawrence Berkeley Laboratory), EE.UU.	NREL, EE.UU.
ESP-RV8 (ESP)	Universidad de Strathclyde, Reino Unido (R.U.)	Universidad De Monfort, R.U.
SERIRES/SUNCODE 5.7 (SRES/SUN)	NREL/Ecotope, EE.UU.	NREL, EE.UU.
SERIRES 1.2 (SERIRES)	NREL, EE.UU. / BRE (Building Research Establishment), R.U.	BRE, R.U.
S3PAS	Universidad de Sevilla, España	Universidad de Sevilla, España
TASE	Universidad de Tampere, Finlandia	Universidad de Tampere, Finlandia
TRNSYS 13.1 (TRNSYS)	Universidad de Wisconsin, EE.UU.	BRE, R.U. Vrije Universiteit, Bruselas, Bélgica

Tabla 9. Lista de programas validados por IEA (Hinojosa Alcántara, 2012)

Dentro del TRNSYS[®] se ha utilizado de una herramienta para cálculo que utiliza COMIS llamada TRNFLOW[®] para analizar los parámetros del flujo de aire a través de la cámara ventilada. El software funciona calculando las ganancias solares (radiación solar) y procesos de conducción y convección del flujo de aire a través de la cámara.

El tema es que el flujo de aire afecta la transferencia de calor pero es también influenciado por las condiciones exteriores de viento y presión. Para este estudio una combinación de simulación térmica y flujo de aire ha sido elegida. TRNSYS[®] y TRNFLOW[®] han sido utilizados para modelar la fachada ventilada estudiada en esta tesis.

4.3 Simulación de los flujos de aire: TNFLOW

Una de las mayores dudas sobre el comportamiento de la fachada ventilada es sobre real la eficacia de la cámara ventilada en climas cálidos, es de suma importancia el estudio de los flujos de aire en la cámara y la forma que éstos interactúan con las temperaturas superficiales y ambientales.

Un análisis completo de una fachada ventilada exige que se resuelvan y analicen los problemas relacionados con los flujos de aire en la cámara ventilada. COMIS (Conjunction of Multizone Infiltration Specialists) es un programa de simulación de flujo de aire multizona que es acoplado al TYPE 56 de TRNSYS[®] a través de TRNFLOW[®], una herramienta que permite estudios térmicos y de flujo de aire juntos.

En 1990, el Comité Ejecutivo de los edificios de la Agencia Internacional de la Energía y el Acuerdo (International Energy Agencies-IEA) de los sistemas comunitarios instituyó un grupo de trabajo que se centró en el modelado del flujo de aire multizona (Annex 23). Annex 23 fue apoyada entre 1990 y 1996 por nueve países participantes: Bélgica, Canadá, Francia, Grecia, Italia, Japón, Suiza, Países Bajos y Estados Unidos. Sus objetivos fueron estudiar los fenómenos físicos que causan el flujo de aire y el transporte de contaminantes en edificios de múltiples zonas, desarrollar módulos numéricos que deberían integrarse en el sistema de modelado de flujo de aire multizona COMIS, y evaluar el código COMIS. Annex 23 se disolvió a finales de 1997. Los programas desarrollados en el marco del Annex 23 han sido mantenidos por los países participantes, y el código oficial COMIS fue entregado a la agencia suiza EMPA en 1998 (epb.lbl.gov/comis).

Muchos módulos están integrados en COMIS, desde componentes de flujo de aire, tales como grietas, componentes de datos de prueba, ventanas, puertas, aberturas verticales (flujo de 2 vías), conductos y accesorios de conductos, ventiladores, controladores de flujo hasta las fuentes de contaminación y ocupantes, además de la posibilidad de definir los horarios adjuntos a la mayor parte de los componentes (por ejemplo, apertura y cierre de ventanas en relación con el comportamiento habitante). Dispositivos de flujo termostático (resistencia al flujo en función de la temperatura del flujo de aire), también se pueden modelar. (buidup.eu, 2014)

En este trabajo, así como es modelo utilizado de Aparicio Fernandez (2014), se ha definido las fachadas ventiladas como zonas separadas del cuerpo del edificio

que se comunican entre sí, con aperturas para entrada de aire por la parte de abajo y la salida de aire por la parte de arriba. Se ha vinculado las aperturas con la velocidad y dirección del viento local (archivos climáticos). Las juntas abiertas han sido simuladas como infiltraciones.

4.4 El modelo utilizado

En este trabajo de investigación se utilizará un modelo de edificio validado por la profesora doctora Carolina Aparicio Fernández de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV). El objetivo de esta elección es utilizar un modelo que ya ha sido validado y dar un paso más hacia el diseño de la fachada ventilada en Sudamérica.

El modelo es la representación de un edificio de la propia universidad que ha sido medido durante un año (01 de enero hasta 31 de diciembre de 2009, un total de 8760 horas de mediciones) por Aparicio, que en su tesis hizo su validación a partir de un modelo de cálculo manual (Aparicio Fernández, 2010). Después de eso, Aparicio e Hinojosa han validado las mediciones en un modelo a partir del software Trnsys 17[©] (Hinojosa Alcántara, 2012; Aparicio Fernández et al, 2014) .

El edificio modelado es el edificio del Departamento de Sistemas Informáticos y Computación (DSIC), ubicado dentro de la UPV y destinado a despachos y laboratorios informáticos.

El edificio tiene forma rectangular de 92 metros de largo y 17,50 metros de ancho. La altura del edificio varía entre 3 y 4 alturas (de 13 a 16 metros). A continuación se muestran el emplazamiento, el alzado y la planta del edificio, respectivamente.

Áreas del edificio:

	Área (m ²)
Área total	1485,21
Área total de fachada	1815,70
Área de vidrio	387,68
Área de fachada ventilada	1428,02
Área de cubierta	402,02 (122,87 – piso 3 / 279,15 piso 4)

Tabla 10. Áreas del edificio

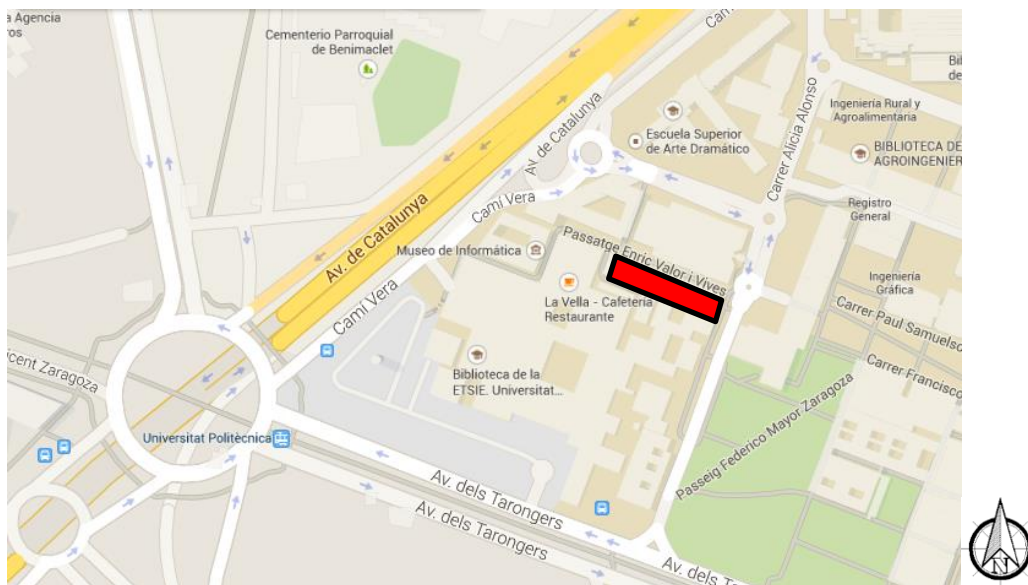


Fig. 134 Planta de situación del edificio (adaptado de GOOGLE MAPS, 2015)

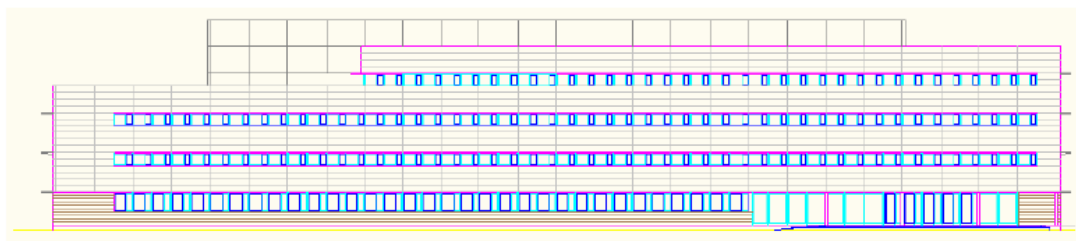


Fig. 135 Alzado del edificio (Hinojosa Alcántara, 2012)

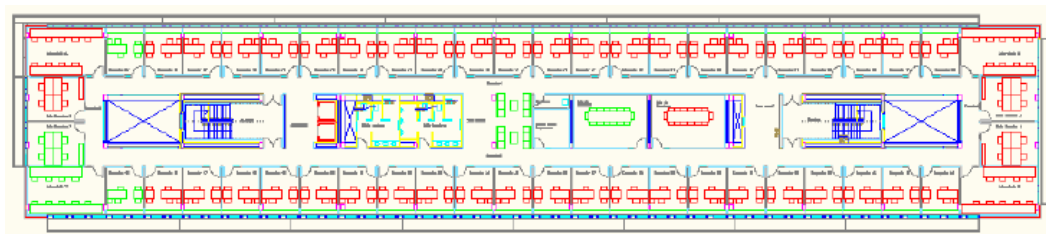


Fig. 136 Planta del edificio (Hinojosa Alcántara, 2012)

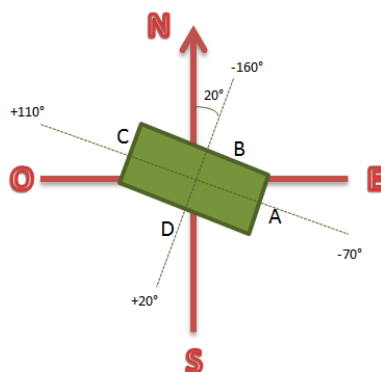


Fig. 137 Orientación del edificio



Fig. 138 Fachada (A)



Fig. 139 Fachada (B)



Fig. 140 Fachada (B)

La fachada de este edificio consta de una hoja exterior flotante que hace de pantalla pluvial, de poco espesor, ligera. Una cámara de aire ventilada y una hoja interior que es la que proporciona la estanqueidad al aire y permite fijar la hoja exterior flotante.

Las fachadas están resueltas con el mismo tipo constructivo en todas las orientaciones. Ordenadas del exterior al interior, el cerramiento está compuesto de las siguientes capas:

- Hoja exterior flotante:

- Cerramiento ligero de paneles colgados con acabado de aluminio anodizado y alma de neopreno (4 mm).

-Los paneles tienen una altura de 59 centímetros y una anchura máxima de 3,5 metros, que varía en las esquinas y las jambas de las ventanas.

- Cámara de aire ventilada (9 cm)
- Hoja interior estanca:
 - Espuma de poliuretano proyectado (4 cm).
 - Panel de fibras de mortero (1 cm).
 - Lana de roca (8 cm).
 - Doble panel de cartón yeso (1,6 cm).

Layer	Espesor (m)	Conductividad Térmica (W/mK)	Densidad (kg/m ³)	Calor específico (J/kg K)
Panel composite Alucobond®	0.004	5.65	980	1350
Cámara ventilada	0.09			
Espuma de poliuretano proyectado (PUR/PIR)	0.04	0.031	12	1500
Panel de fibras de mortero	0.01	0.23	1200	1500
Lana de roca	0.08	0.036	50	1000
Doble panel de cartón yeso	0.016	0.25	900	1000

Tabla 11. Características térmicas de la fachada estudiada

Las fachadas con revestimiento ventilado empiezan en la planta primera hasta el peto de la azotea. La planta baja está compuesta de las siguientes capas, ordenadas del exterior al interior:

- Piedra arenisca (3 cm)
- Mortero de cemento (3 cm)
- Ladrillo panal (11,5 cm)
- Lana de roca (6 cm)
- Doble panel de cartón yeso (1,6 cm)

La composición del suelo, del exterior al interior:

- Forjado de hormigón armado (30 cm)
- Aislante
- Terrazo (4cm)

La composición de la cubierta, del exterior al interior:

- Baldosas de terrazo (4 cm)
- Aislamiento térmico de poliestireno extruido (5 cm)
- Lámina bituminosa (2 cm)
- Hormigón aligerado (10 cm)
- Forjado de hormigón armado (30 cm)



Fig. 141 Detalles de la construcción d la fachada (Aparicio Fernández et al, 2014)

4.5 La validación del modelo

El trabajo de Aparicio Fernández (2010) empezó con mediciones del edificio. Durante un año se tomaron medidas de temperaturas de la fachada ventilada. La recogida de datos se ha procedido de la siguiente forma: en primer lugar una placa electrónica, basada en un microcontrolador, se diseñó para la lectura y almacenamiento de datos. El sistema se compuso de sensores de temperatura, situados en dos bloques (3 sensores de cada uno), de modo que las diferencias de

las temperaturas pudiesen ser controladas a través de la pared. Los sensores térmicos se instalaron en el segundo piso en las esquinas para que todos los datos pudiesen ser recogidos a partir del mismo nivel en todas las orientaciones. Los sensores se instalaron en las esquinas, donde la cavidad de aire ventilada es continua a lo largo de todo el edificio y en alrededor de 8 m desde el suelo.

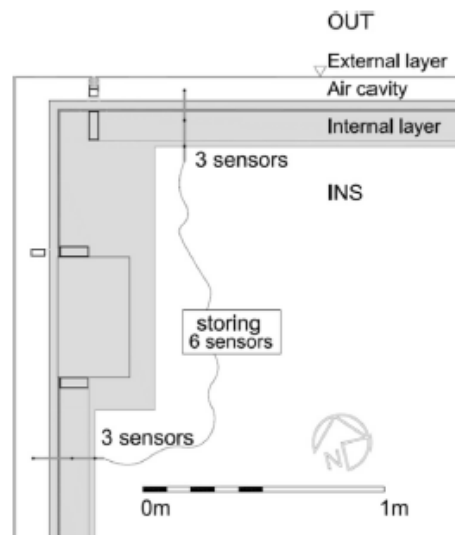


Fig. 142 Posición de los sensores en la segunda planta (Aparicio Fernández et al, 2014)

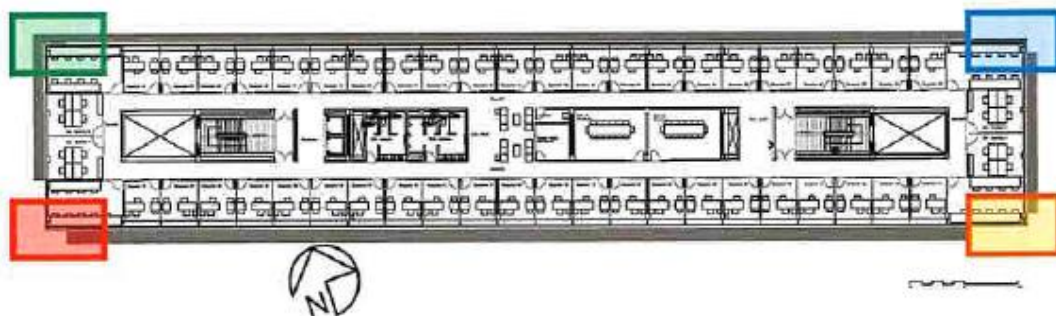


Fig. 143 Planta 2ª, indicador de zonas con sensores térmicos. Aparicio Fernández, 2010.

Los datos se registraron a intervalos de 10 minutos. Dirección del viento, velocidad del viento, la temperatura ambiente y la humedad relativa se monitorizaron cada 10 minutos por una estación meteorológica instalada cerca del edificio estudiado. El edificio en estudio se calentó continuamente a una temperatura ambiente de 20° C por medio de un sistema de bomba de calor.

Después de tener todos los datos el edificio ha sido modelado en tres dimensiones en el software SketchUp® y después transportado al software TRNSYS 17® (Hinojosa Alcántara, 2012). El efecto de la cámara de aire ha sido modelado

añadiéndose un espacio pequeño de entrada y salida de aire. Con la herramienta COMIS en TNFLOW® se han analizado los parámetros del flujo de aire a través de la cámara ventilada que ha sido calculada utilizándose un modelo de flujo de aire multizona. El software trabaja calculando las ganancias solares (radiación solar), la conducción y el proceso convección del flujo de aire a través de la cavidad.

Debido a la complejidad del edificio, y con objetivo de reducir el tiempo de simulación que empleó Trnsys®, se han realizado algunas simplificaciones.

Puesto que lo que interesa estudiar es el comportamiento de la fachada ventilada, se ha reducido el tamaño del edificio aproximadamente a la mitad, pero manteniendo la altura original. De este modo, las dimensiones del edificio modelado son (45,78 x 8,77 x 16,66) m.

Asimismo, se ha simplificado el interior del edificio, de forma que no se han modelado por separado cada uno de los despachos de cada planta, sino que se han considerado las plantas como una única zona térmica.

De esta forma, se han considerado únicamente 5 zonas interiores, a las que se ha denominado:

PLANTA 0

PLANTA 1

PLANTA 2

PLANTA 3

PLANTA 4

En la siguiente figura se ha resaltado con colores diferentes cada una de las plantas modeladas.

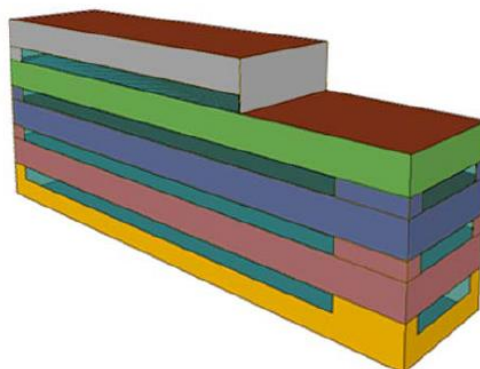


Fig. 144 Planta modelada en Sketchup®. (Hinojosa Alcántara,2012)

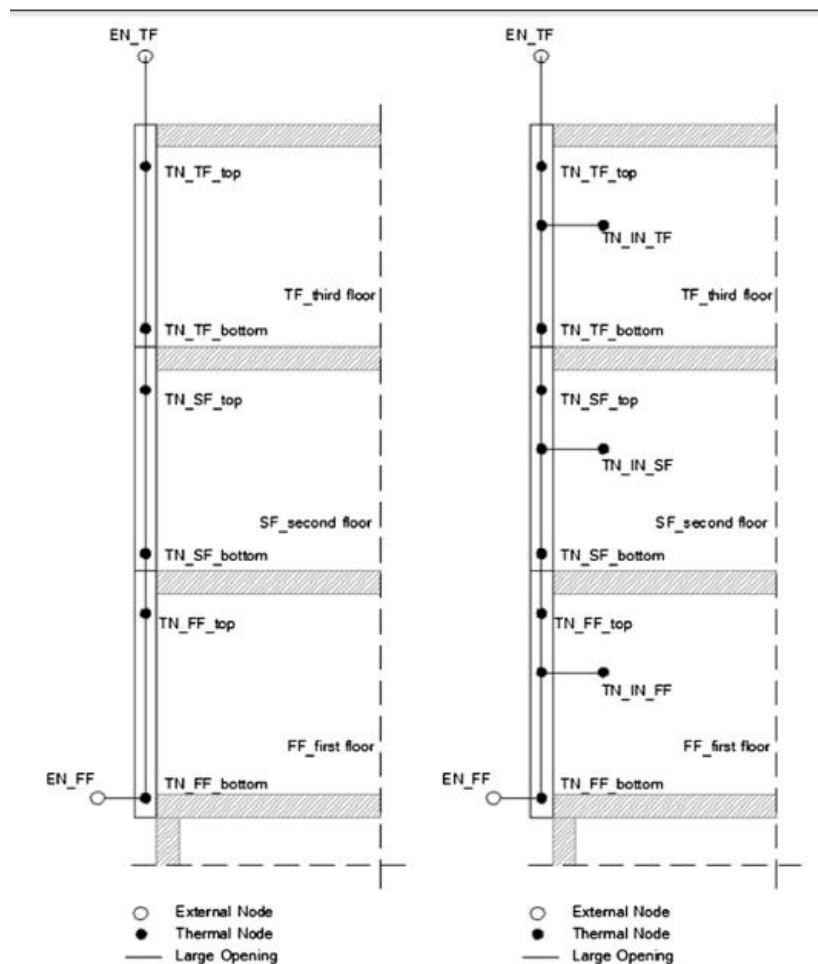
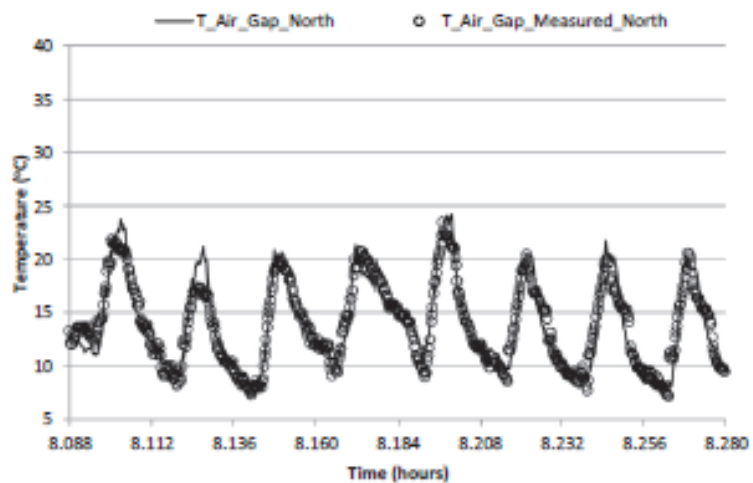


Fig. 145 Modelo de simulación de los flujos de aire, TRNFLOW[®], entradas y salidas de aire. Fuente: (Aparicio Fernández et al, 2014)

Con el fin de validar los resultados, los siguientes datos climáticos se han introducido en el modelo: velocidad y dirección del viento, la radiación solar sobre el plano horizontal, temperatura y humedad (estación meteorológica).

Para todas las fachadas, la temperatura de la cavidad ha sido monitoreada y los resultados para los 4 meses (marzo, junio, septiembre y diciembre) se compararon con los valores generados por el modelo simulado. La diferencia en la capacidad predictiva del modelo para cada fachada se puede observar abajo.

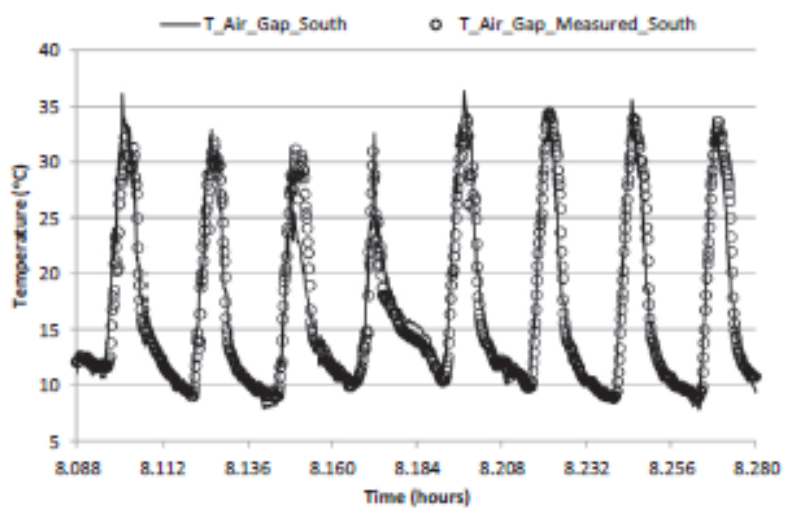
La desviación del modelo para la realidad es cerca de 15%, mientras que para la fachada sur es cerca de 20%. La figura abajo muestra que el modelo desarrollado por el software ofrece temperaturas ligeramente por encima de los valores medidos, con bastante buen ajuste. La fachada Sur muestra una dispersión ligeramente más alta que los demás.



a)

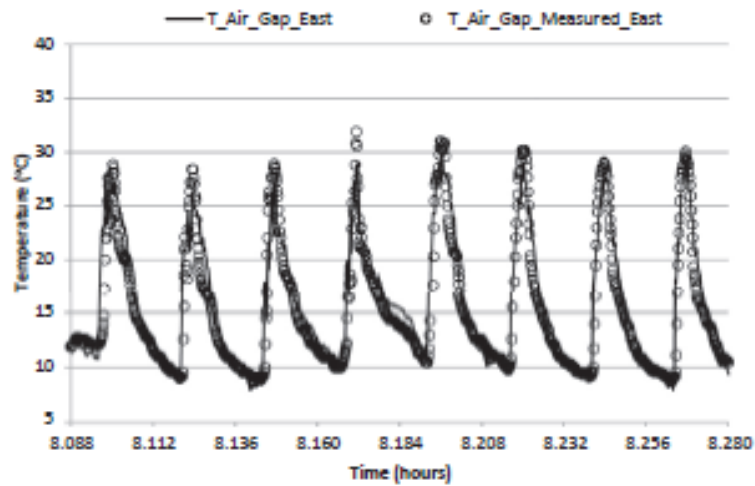
— T_Air_Gap_East ○ T_Air_Gap_Measured_East

Gráfica 5. Temperaturas medidas y simuladas en diciembre. Fachada Norte. Fuente: (Aparicio Fernández et al , 2014)



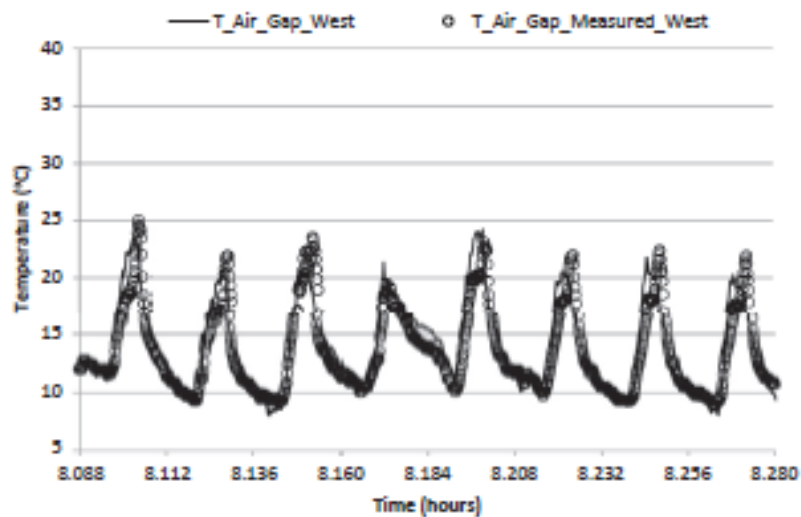
b)

Gráfica 6 .Temperaturas medidas y simuladas en diciembre Fachada Sur. Fuente: (Aparicio Fernández et al, 2014)



c)

Gráfica 7. Temperaturas medidas y simuladas en diciembre. Fachada Este. Fuente: (Aparicio Fernández et al, 2014)



d)

Gráfica 8. Temperaturas medidas y simuladas en diciembre. Fachada Oeste. Fuente: (Aparicio Fernández et al, 2014)

Así pues se puede concluir que el modelo simulado representa lo que ocurre en la realidad y se puede utilizarlo para otras simulaciones como es el caso de esta tesis.

5. LA SIMULACIÓN EN BRASIL

5.1 El cerramiento convencional en Brasil

Según Sabbatini (1989), el sistema constructivo más utilizado en Brasil es la estructura reticulada de hormigón armado, cerramientos en albañilería de componentes cerámicos u otros y revestidos con mortero de cemento.

Actualmente, la albañilería es la técnica más utilizada para el cierre de las paredes de edificios en Brasil, de paredes sencillas a los monumentos, los bloques más comunes son de cerámica y hormigón. (Souza, 2012).

El sistema convencional en el país aún prevalece debido a algunos factores importantes:

- la fuerte cultura constructiva;
- los otros métodos exigen una mayor necesidad de la planificación y especialización de mano de obra;
- por los bajos costes.

Los dos tipos de ladrillos cerámicos más usados son: ladrillos utilizados en la ejecución de muros, capaz de soportar su propio peso y las cargas pequeñas, por lo general se utiliza con los agujeros en horizontal, y el ladrillo estructural, que además de la función de cerramiento, puede utilizarse en edificios para sustituir columnas y vigas de hormigón debido a su alta resistencia mecánica. Para cerramiento el ladrillo de cerámica más utilizado es el de seis (06) y ocho (08) agujeros.

Es casi inexistente el uso de aislamiento térmico resistivo como las lanas minerales, las espumas o placas de poliuretano en las paredes de las construcciones en Brasil. Los vidrios utilizados en el país son del tipo float sencillo (4, 6 u 8 mm), los vidrios doble son utilizados en hoteles y empresas en sitios urbanos muy ruidosos, su objetivo principal es acústico. En las cubiertas se suele utilizar barreras radiantes de aluminio para bloquear la entrada de calor.

A continuación se muestra el cerramiento elegido para ser el convencional utilizado como comparativo en esta tesis. La fachada ventilada será comparada al cerramiento más diseminado entre la construcción del país.

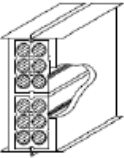
Pared	características	U (W/m ² K)	R _T (m ² K/W)	C _T (kJ/m ² K)	FS (%)	φ (horas)
1. 	Revoco (2,5cm) + Ladrillo de 6 huecos (10 cm) + Revoco (2,5cm) = 15cm	2,28	0,44	168	2,74	3,70

Tabla 12 Características física y térmicas del cerramiento convencional que será utilizado en esta investigación (NBR 15220, adaptado)

A diferencia de España donde siempre se compara la fachada ventilada con un cerramiento doble, muchas veces con aislamiento térmico, en Brasil la comparación será con este sencillo cerramiento con el objetivo de ser realista.

5.2 Los primeros pasos de la FV en Brasil

Aún son pocas las obras ejecutadas con fachadas ventiladas en Brasil, sin embargo se puede notar que existen algunos edificios que utilizaron fachadas con la hoja exterior en cerámica extrudida, paneles de aluminio compuesto y placas fenólicas.

Empresas internacionales productoras y vendedoras de estos productos ya están instaladas en el país (Belmetal, Hunter Douglas, Gail, Pertech, Eternit, Ulma, Trespa, Porcelanosa entre otras) y el mercado interno también empieza a generar sus propios productos (Eliane, Lepri, Portobello). También comienzan dentro de las universidades las primeras investigaciones sobre el tema (principios de los años 2000).

Los primeros edificios a utilizar la fachada ventilada son de grande porte como el Tribunal de Justiça do Estado da Bahia, Salvador Shopping Business, FECOMERCIO - Sede de la Federación de Comercio del Estado de São Paulo, Riomar Shopping Center, Hospital Municipal Euryclides J. Zerbini, SEC Goiania entre otros.



Fig. 146 Salvador Shopping Business, Salvador, AFA Arquitectos Associados. Fachada ventilada cerâmica.

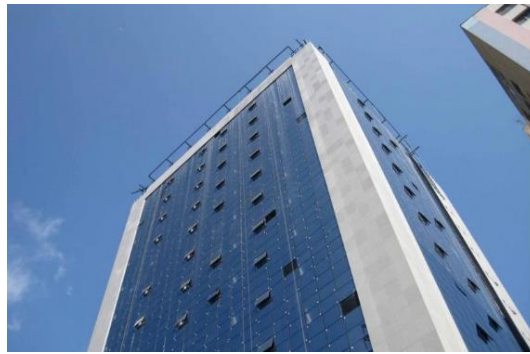


Fig. 147 Fecomercio Sede de la Federación de Comercio del Estado de São Paulo. São Paulo, Arq. Julio Neves. FV hormigón polímero.



Fig. 148 Tribunal de Justiça do estado da Bahia, Salvador de Bahia, Equipo de arquitectura del Tribunal de Justicia de Bahia. Rehabilitación



Fig. 149 Riomar Shopping Center, Recife, AFA Arquitetura: André Sáe y Chico Mota.



Fig. 150 Hosp. M. Euryclides Zerbini, São Caetano do Sul, SP, arq. Gustavo Pinto. Rehabilitación. FV



Fig. 151 Sesc Goiania. Griffe Arquitetura. FV
 se puede subrayar en estos edificios es la
 en las fachadas, como en el proyecto de la

FECOMERCIO, donde la fachada ventilada ocupa un pequeño porcentaje total del área de piel del edificio, no contribuyendo con la protección frente a la radiación solar.

5.3 Selección de ciudades representativas para cada zona climática

La demanda energética de calefacción y de refrigeración de un mismo edificio situado en diferentes localidades de una misma zona climática es sensiblemente igual. Por esta razón y por cuestiones de operatividad se ha decidido designar una ciudad representativa para cada una de las zonas climáticas de Brasil.

Los motivos para la elección de las ciudades han sido: disponibilidad de datos meteorológicos, lo archivos climáticos disponibles y en un formato compatible con el programa Trnsys[®] (TMY - Typical Meteorological Years, EPW...); elección de ciudades de diferentes latitudes como Vitoria da Conquista/BA, Petrolinao/PE y Belém (PA), así se obtiene un amplio alcance de los efectos de la radiación solar en el territorio nacional.

Zona	Ciudad representativa/ Provincia	Latitud	Temp. media anual (°C)	Velocid media del aire (m/s)	Horas de sol (anual)	Hum. relativa media (%)	Precip anual (mm)
1	Curitiba/Paraná	25° 25' 40" S	16,5	3,4	1714,2	80	1407,9
2	Bagé/Rio Grande do Sul	31° 19' 53" S	17,6	2,6	2444,6	78	1350
3	Sao Paulo/São Paulo	23° 32' 51" S	19,3	1,7	1732,7	78	1454,8
4	Brasilia/ Distrito Federal	15° 46' 47" S	21,2	1,7	2364,8	67	1552,1
5	Vitoria da conquista/Bahia	14° 51' 58" S	20,2	-	2068,6	78,3	733,9
6	Campo Grande/Mato Grosso do Sul	20° 26' 34" S	22,7	2,66	2526,6	72,8	1489
7	Petrolina/Pernambuco	09° 23' 55" S	26,3	2,6	2844,8	58	609,8
8	Belém/Pará	01° 27' 21" S	25,9	3	2219,8	84	2893,1

Tabla 13. Características de las ciudades representativas.

Fuente: Normais Climatológicas (1961-1990), Brasilia, 1992.
Ministério da Agricultura e Reforma Agrária
Secretaria Nacional de Irrigação
Departamento Nacional de Meteorologia

Los archivos climáticos utilizados son del software METEONORM[®] y tienen formato TMY. METEONORM[®] es un software basado en 25 años de experiencia en el desarrollo de bases de datos meteorológicas para aplicaciones de energía. Es una referencia meteorológica comprensible, incorporando un catálogo de datos meteorológicos y procedimientos de cálculo para aplicaciones solares y diseño de sistemas para cualquier localidad en el mundo.

La base de datos es alimentada por 8.325 estaciones meteorológicas en todo el mundo, así como por cinco satélites geoestacionarios con cobertura global.

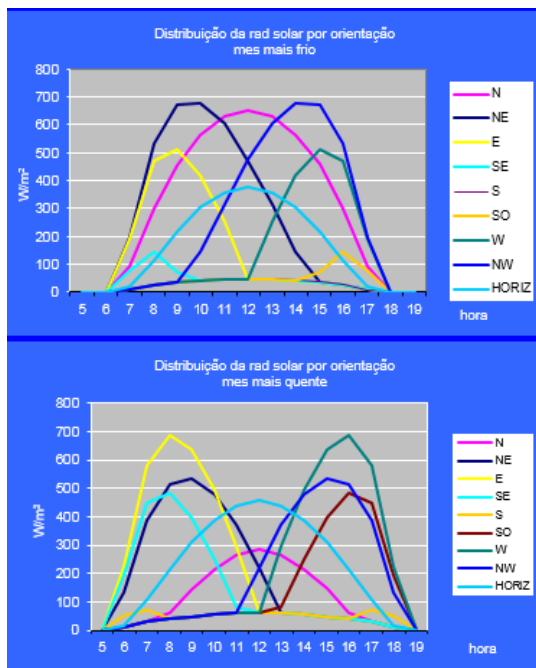
Por lo general, los datos de medición sólo se pueden utilizar en la proximidad de una estación meteorológica. En otras partes, los datos tienen que ser interpolados entre las diferentes estaciones. Los modelos de interpolación sofisticados de METEONORM[®] permiten un cálculo fiable de la radiación solar, la temperatura y otros parámetros en cualquier sitio en el mundo. (Aiguasol,2015)

El estándar es de 1991-2010 para la irradiación y 2000-2009 para los otros parámetros; se pueden seleccionar otros períodos.

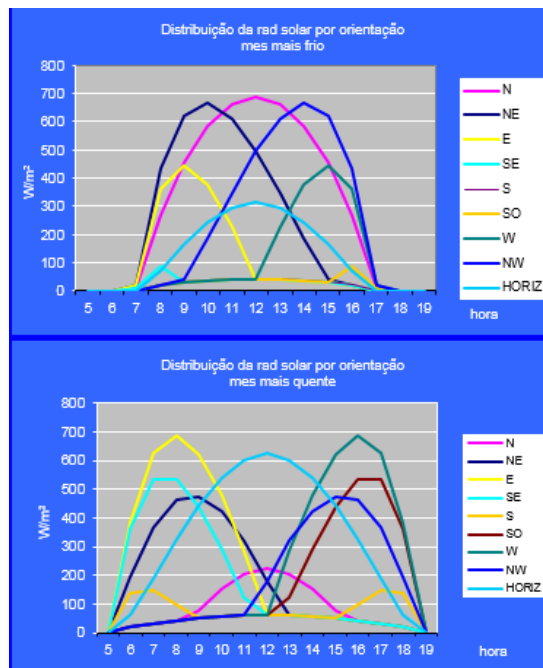
A partir de los valores mensuales (datos de la estación, datos interpolados o datos importados), METEONORM[®] calcula los valores horarios de todos los parámetros mediante un modelo estocástico. La serie temporal resultante corresponde a "años normales" que se utiliza para el diseño del sistema. Además, se obtienen los siguientes parámetros:

- Azimut y elevación solar
- Radiación global, difusa y directa (directa normal), así como la radiación en planos inclinados
- Radiación de onda larga
- Luminancia
- Radiación UVA/UVB
- Precipitación, lluvia torrencial
- Parámetros de humedad (punto de rocío, humedad relativa, ratio de mezcla, temperatura psicrométrica)

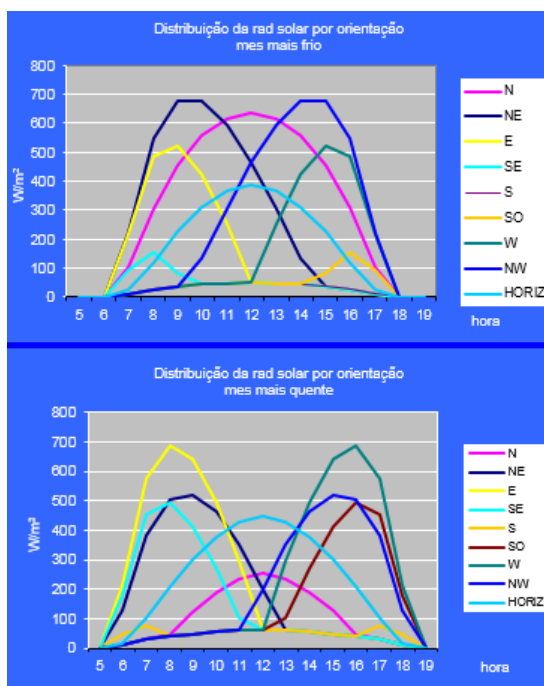
A continuación los datos de radiación para las diferentes fachadas son enseñados (Climaticus, 2014):



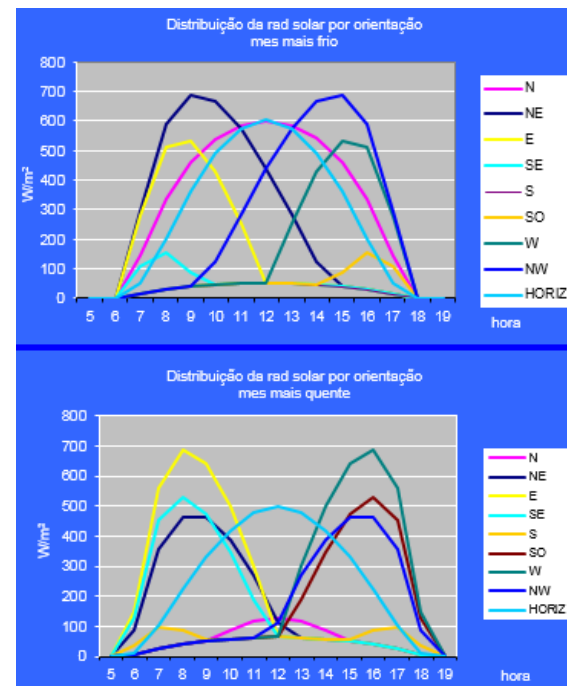
Curitiba



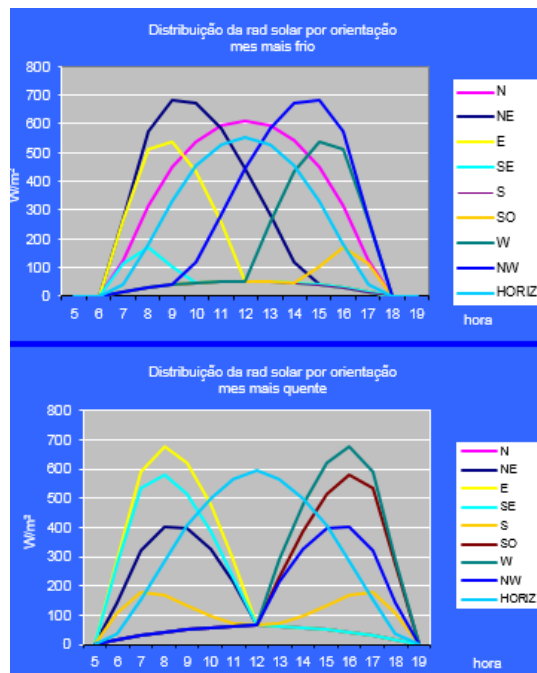
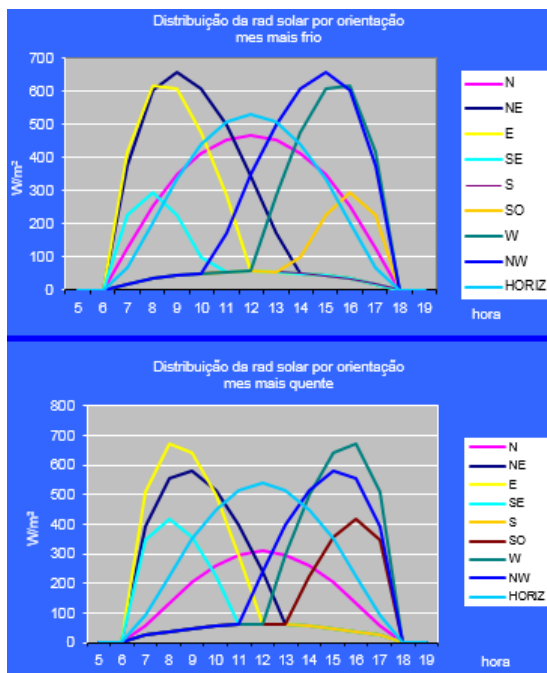
Bagé



Sao Paulo

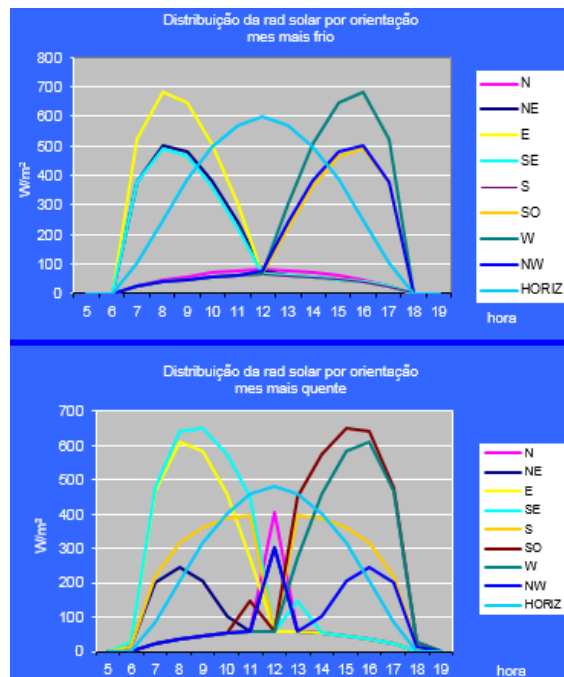
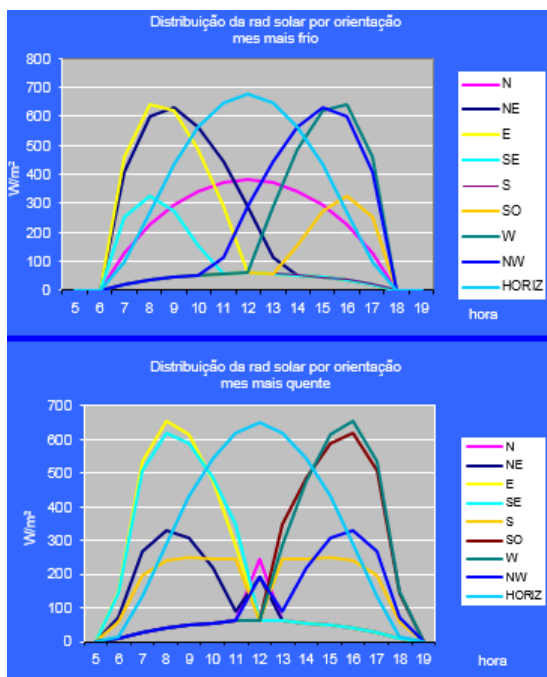


Brasilia



Vitoria da Conquista

Campo Grande



Petrolina

Belém

Gráficas 9 a 16 – Intensidad de radiación solar en las diferentes ciudades representativas

5.4 Condiciones de simulación

En este apartado están las condiciones de funcionamiento del edificio introducidas en la simulación. El hemisferio ha sido cambiado y los archivos climáticos utilizados vienen del software METEONORM®.

Basándose en las normativas de España y analizando las normativas brasileñas para infiltraciones y tasa de ventilación mínima, los datos utilizados en esta investigación serán:

- para las infiltraciones se ha considerado un valor de 1 renovación por hora, puesto que se trata de un edificio de nueva construcción y con buenas características de hermeticidad (mismo valor utilizado en el modelo);
- para la ventilación, por otro lado, se ha definido dos tipos: una ventilación para la simulación sin acondicionamiento térmico de 10 renovaciones por hora en verano y 1 renovación por hora en invierno, y 1 renovación por hora para simulaciones con calefacción y refrigeración (la normativa brasileña dispone que es necesario $27\text{m}^3/\text{h}$ por persona como mínimo, el edificio tiene 50 personas por planta, así las renovaciones mínimas serían aproximadamente 1 por hora). Las renovaciones se producen con aire exterior, por lo que la temperatura y la humedad del aire entrante serán las del aire exterior.
- Han sido realizadas simulaciones sin acondicionamiento artificial para evaluar cómo sería el comportamiento del edificio en esta situación. Otra preocupación era evaluar la evolución de las temperaturas capa tras capa.

El condicionamiento artificial ha sido establecido teniendo en cuenta el clima y las normativas brasileñas. Es importante subrayar que en Brasil casi no hay sistemas de calefacción, la mayor parte del país no la necesita. En el sur del país donde hace frío en invierno, los sistemas de calentamiento son bombas de calor y muchas veces la chimenea u horno de leña. Para un estudio completo de gastos energéticos se ha elegido poner tanto refrigeración cuanto calefacción, y esta última como un cuantificador que hará parte del análisis final.

La calefacción se ha programado para que se encienda cuando la temperatura en el interior del edificio sea menor de 21°C, mientras que la refrigeración se encenderá cuando la temperatura sea mayor de 27°C. Ambas temperaturas tienen sus orígenes en la normativa brasileña, NBR 16401, Instalações de ar condicionado- Parte 2- Parâmetros de conforto y la ASHRAE , norteamericana la cual Brasil toma como ejemplo, en una normativa para los climas cálidos de Norteamérica (ASHRAE 62, 2001).

En la normativa brasileña se encuentran las temperaturas de confort: 21 a 23,5°C en invierno con humedad de 65% y 22,5 a 25,5°C en verano con la misma humedad. En la normativa norteamericana se encuentran los valores de confort entre 23 e 27°C. La opción de elegir la temperatura más baja y la más alta es debido a alta tolerancia térmica de los países en desarrollo que no cuentan aún con climatización artificial en todo el país.

Las ganancias internas del edificio permanecieron las mismas del edificio modelo original y ocurren en el periodo laboral:

- 50 personas por planta trabajando sentadas.
- 50 ordenadores por planta.
- Luz artificial con una irradiancia de 17 W/m².

La programación de los días laborales ha sido alterada debido al horario de Brasil ser distinto al de España.

Se ha considerado el horario de Lunes a Viernes, desde 8:00h hasta las 12:00h, con una ocupación de 80%, entre 12:00 y 14:00h, con una ocupación de 20%, y entre las 14 y 18h, una ocupación de 80%. El modelo original era parecido, la única diferencia era el horario de 20% de ocupación que ocurría entre 14 y 16h.

En principio las simulaciones analizaron dos periodos del año, el invierno y el verano (en verano fueron analizados los meses de enero y febrero, en invierno julio y agosto). Sin embargo después de analizar los resultados hubo la necesidad de analizar datos de todo el año, principalmente en regiones donde hace calor durante los 12 meses. El recorte de dos meses no era suficiente para una mirada detallada del clima. Los datos parecieron no enseñar la realidad. Así se cambiaron las simulaciones para todo el año en todas las zonas.

En el sur del país donde hay efectivamente invierno ha sido posible evaluar la presencia de aislamiento térmico, material poco utilizado en las construcciones del

país, analizando las variaciones de temperatura y demandas de frío y calor. En el norte y nordeste ha sido posible identificar la variación en la dirección de la radiación solar (cuanto más cerca del ecuador más radiación en la fachada sur) y las ganancias solares de cada fachada.

Cada simulación ha sido realizada para las 8 zonas climáticas de Brasil y han sido mezcladas las características de la fachada ventilada buscando el mejor resultado.

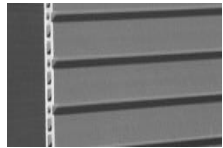
Han sido realizadas:

- simulaciones con hoja interior pesada y ligera,
- simulaciones con y sin aislamiento térmico,
- simulaciones con y sin ventilación,
- simulaciones con 3 tamaños de cámaras de aire,
- simulaciones con juntas abiertas y cerradas,
- simulaciones con entradas y salidas de aire mayores,
- simulaciones con baja emisividad en la cámara de aire,
- simulaciones con hoja exterior ligera y pesada
- simulaciones con hoja exterior clara y oscura
- simulaciones con diferentes cantidades de aire entrante,
- simulaciones con 3 porcentajes de acristalamiento diferentes.

Detalles de los cerramientos:

Fachada	Hoja interior	Aislam. térmico	Cámara (cm)	Tipo ventil.	Hoja exterior	Color (α)	U^{13} $W/m^2 \cdot ^\circ C$
Convencional	Ladrillo cerámico hueco revocado	--	--	--	--	0,6	2,285
FV modelo	- Espuma de poliuretano proyectado (4 cm). - Panel de fibras de mortero (1 cm). - Lana de roca (8 cm). - Doble panel de cartón yeso (1,6 cm).	sí	9	Entradas y salidas con 1 cm. Sin juntas	Panel composite Alucobond® 4cm	0,6	0,245

¹³ Los valores de las transmitancias no consideran la cámara de aire y la hoja exterior, conforme el CTE de España.

FV modelo (clara)	- Espuma de poliuretano proyectado (4 cm). - Panel de fibras de mortero (1 cm). - Lana de roca (8 cm). - Doble panel de cartón yeso (1,6 cm).	sí	9	Entradas y salidas con 1 cm. Sin juntas	Panel composite Alucobond® 4cm	0,2	0,245
Sin aislamiento térmico	Ladrillo cerámico hueco	No	9	Entradas y salidas con 1 cm. Sin juntas	Panel composite Alucobond® 4cm	0,6	3,029
FV hoja ext. cerámica	- Espuma de poliuretano proyectado (4 cm). - Panel de fibras de mortero (1 cm). - Lana de roca (8 cm). - Doble panel de cartón yeso (1,6 cm).	sí	9	Entradas y salidas con 1 cm. Sin juntas	Cerámica 	0,6	0,245
FV s/aislm hoja ext cer clara	Ladrillo cerámico hueco	No	9	Entradas y salidas con 1 cm. Sin juntas	Cerámica extrudida	0,2	3,029
FV sin ventilación	- Espuma de poliuretano proyectado (4 cm). - Panel de fibras de mortero (1 cm). - Lana de roca (8 cm). - Doble panel de cartón yeso (1,6 cm).	Sí	9	Sin ventilación	Panel composite Alucobond® 4cm	0,6	0,235
FV hoja interior ligera	OSB + aire + OSB	sí	9	Entradas y salidas con 1 cm. Sin juntas	Panel composite Alucobond® 4cm	0,6	0,245
FV steel frame con aislamiento térmico	OSB + lana de roca (10cm) + OSB	Sí	9	Entradas y salidas con 1 cm. Sin juntas	Panel composite Alucobond® 4cm	0,6	0,272
FV hoja interior ligera +clara	OSB + lana de roca (10cm) + OSB	Sí	9	Entradas y salidas con 1 cm. Sin juntas	Panel composite Alucobond® 4cm	0,2	1,926
FV cámara	- Espuma de poliuretano proyectado (4 cm). - Panel de fibras de mortero (1 cm). - Lana de roca (8 cm). - Doble panel de cartón yeso (1,6 cm).	Sí	15	Entradas y salidas con 1 cm. Sin juntas	Panel composite Alucobond® 4cm	0,6	0,245

FV infiltrac.	- Espuma de poliuretano proyectado (4 cm). - Panel de fibras de mortero (1 cm). - Lana de roca (8 cm). - Doble panel de cartón yeso (1,6 cm).	Sí	9	Entradas y salidas con 1 cm. Juntas simuladas con 10 r/h	Panel composite Alucobond® 4cm	0,6	0,245
FV entr. Y salidas	- Espuma de poliuretano proyectado (4 cm). - Panel de fibras de mortero (1 cm). - Lana de roca (8 cm). - Doble panel de cartón yeso (1,6 cm).	Sí	9	Entr y salida con 9 cm Sin juntas	Panel composite Alucobond® 4cm	0,6	0,245
FV todo	- Espuma de poliuretano proyectado (4 cm). - Panel de fibras de mortero (1 cm). - Lana de roca (8 cm). - Doble panel de cartón yeso (1,6 cm).	Sí	15	Entr y salidas con 9 cm. Cámara 15cm Juntas abiertas	Panel composite Alucobond® 4cm	0,6	0,245
FV (baja emis. hoja interior)	- Espuma de poliuretano proyectado (4 cm). - Panel de fibras de mortero (1 cm). - Lana de roca (8 cm). - Doble panel de cartón yeso (1,6 cm).	sí	9 con baja emis.	Entradas y salidas con 1 cm. Sin juntas	Panel composite Alucobond® 4cm	0,6	0,245
FV (int conv s-aisl, entrada, baja emis, ext cer, claro)	Ladrillo cerámico hueco	No	9 con baja emis.	Entradas y salidas con 1 cm. Sin juntas	Cerámica extrudida	0,2	2,285
FV (sin ventil, cer ext , 0.6)	- Espuma de poliuretano proyectado (4 cm). - Panel de fibras de mortero (1 cm). - Lana de roca (8 cm). - Doble panel de cartón yeso (1,6 cm).	Sí	9	Sin ventilar	Cerámica extrudida	0,6	0,245
Int macizo/ sin aisl/ entrada/ ext cer/ claro	Ladrillo cerámico macizo	no	9	Entrada y salida 9 cm Sin juntas	Cerámica extrudida	0,2	2,92
Int macizo/ sin aislm/ entrada/ ext cer/ claro /emis baja	Ladrillo cerámico macizo	No	9 con baja emis.	Entrada y salida 9 cm Sin juntas	Cerámica extrudida	0,2	2,92

Int macizo sin ventilar / ext cer/ 0,6	Ladrillo cerámico macizo	No	9	Sin ventilar	Cerámica extrudida	0,6	2,92
Int Conv s- aism/ ext cer/0,6/sin ventilar	Ladrillo cerámico hueco	No	9	Sin ventilar	Cerámica extrudida	0,6	2,285
Int conv + aisl/ ext cer/0,6/sin ventilar	Ladrillo cerámico hueco con aislamiento térmico de 5cm exterior	Sí	9	Sin ventilar	Cerámica extrudida	0,6	0,471
Int mac + aisl/ext cer/0,6/ s- vent	Ladrillo cerámico macizo con aislamiento térmico de 5cm exterior	Sí	9	Sin ventilar	Cerámica extrudida	0,6	0,640
Int mac+ aisl/cer/0,6/ cam3/ vent	Ladrillo cerámico macizo con aislamiento térmico de 5cm exterior	Sí	3	Sin ventilar	Cerámica extrudida	0,6	0,640
30wwr (% de vidrio)	- Espuma de poliuretano proyectado (4 cm). - Panel de fibras de mortero (1 cm). - Lana de roca (8 cm). - Doble panel de cartón yeso (1,6 cm).	sí	9	Entradas y salidas con 1 cm. Sin juntas	Panel composite Alucobond® 4cm	0,6	0,245
40wwr (% de vidrio)	- Espuma de poliuretano proyectado (4 cm). - Panel de fibras de mortero (1 cm). - Lana de roca (8 cm). - Doble panel de cartón yeso (1,6 cm).	sí	9	Entradas y salidas con 1 cm. Sin juntas	Panel composite Alucobond® 4cm	0,6	0,245
60wwr (% de vidrio)	- Espuma de poliuretano proyectado (4 cm). - Panel de fibras de mortero (1 cm). - Lana de roca (8 cm). - Doble panel de cartón yeso (1,6 cm).	sí	9	Entradas y salidas con 1 cm. Sin juntas	Panel composite Alucobond® 4cm	0,6	0,245

Tabla 14. Cerramientos simulados

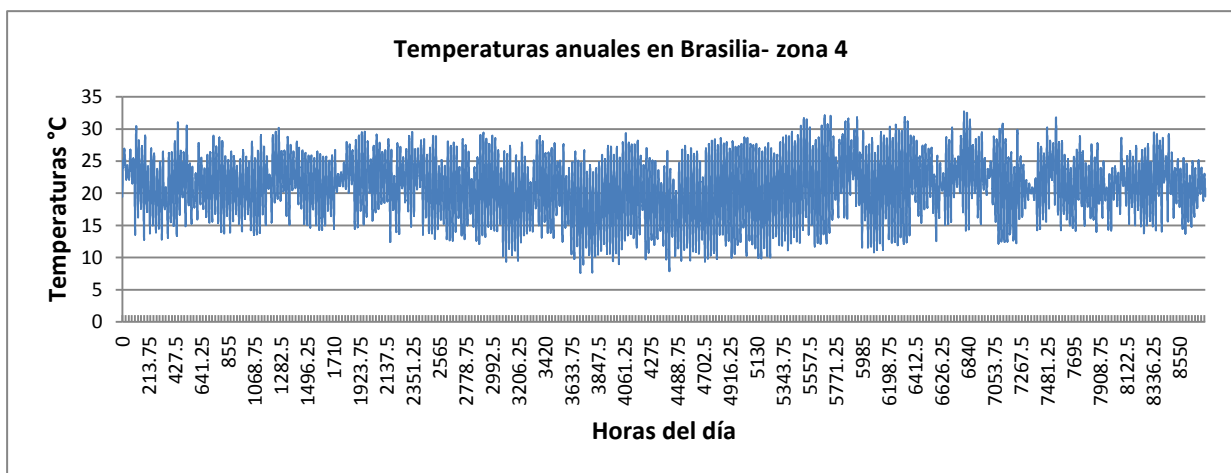
6. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES

A continuación se procede a generar una serie de análisis a partir de las demandas de refrigeración y calefacción obtenidas por las simulaciones, así como datos de temperaturas de las cámaras y de las superficies. El objetivo es llegar a conclusiones sobre como las fachadas ventiladas funcionan en los climas brasileños y cuál es la mejor manera de utilizarlas en las diferentes zonas del país.

Para empezar el análisis las zonas han sido divididas en 3 categorías:

- a) Zonas que presentan estación fría y estación cálida (1,2 y 3)
- b) Zonas que presentan predominantemente estación cálida (4,5 y 6)
- c) Zonas que solamente presentan estación cálida (7 y 8)

Para hacer esta división se tomó en cuenta el comportamiento térmico de la fachada ventilada modelo en las diferentes zonas. Así, las zonas 1, 2 y 3 se han agrupado pues en estas tres situaciones la fachada ventilada modelo funciona térmicamente bastante bien. Ya a partir de la zona 4 cuando la estación cálida es predominante, y ahí se juntan las zonas 5 y 6, la utilización de la fachada modelo es buena pero la utilización de aislamiento térmico presenta problemas.

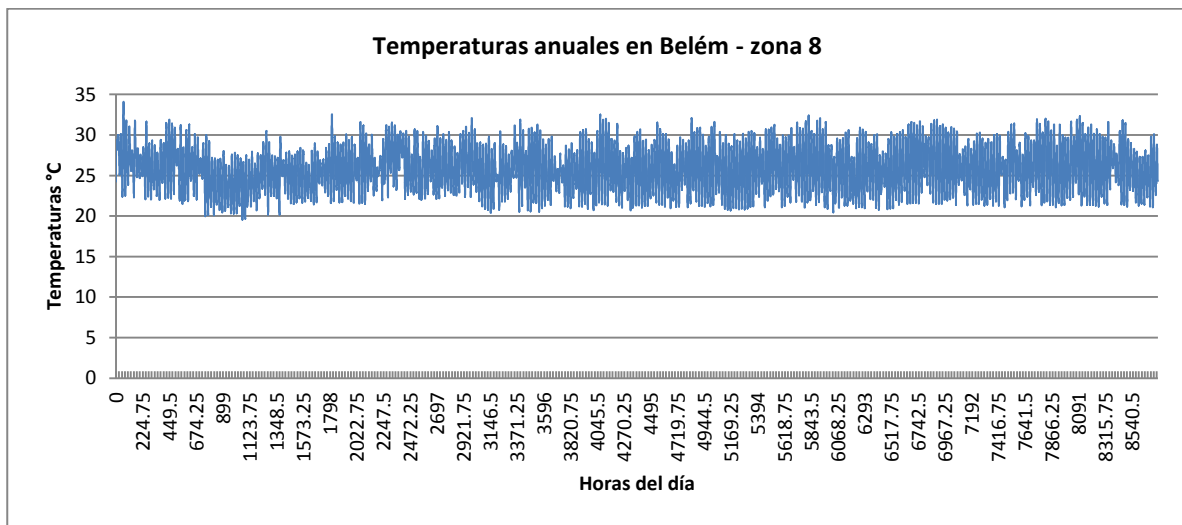


Ejemplo de las temperaturas exteriores de la zona 4

Las zonas 7 y 8 no señalan necesidad de calefacción, tienen climas típicamente tropicales. Las temperaturas están siempre sobre los 20°C.

Esta división ha sido realizada para que el análisis sea más completo posible, sin ser repetitivo. Agrupando los climas semejantes también se obtendrá estrategias

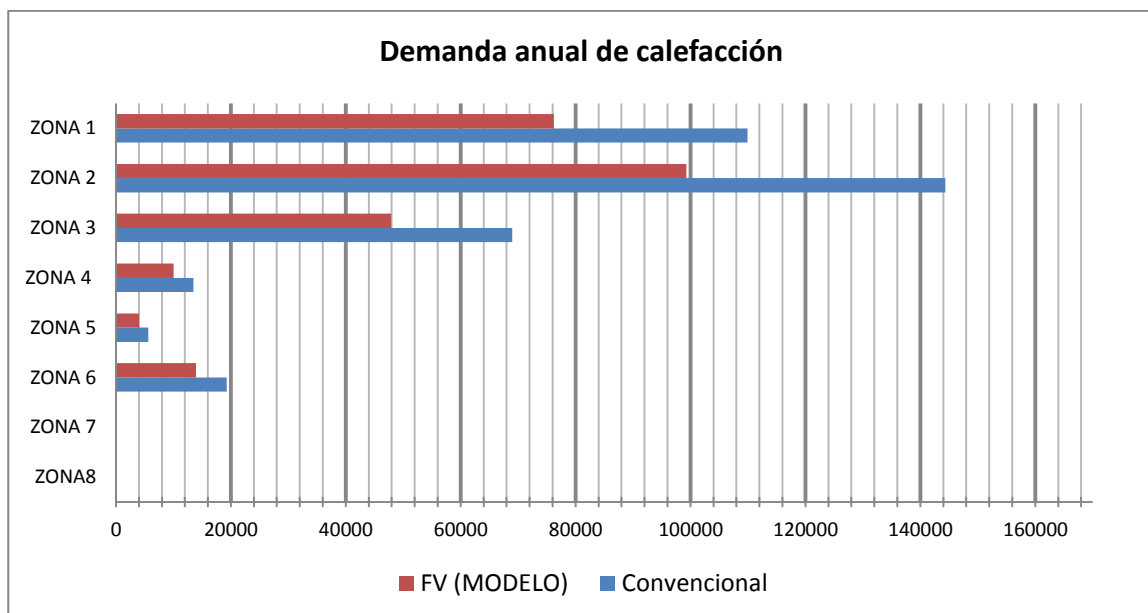
de diseño específicas para estos tres grupos. Dentro de cada grupo puede haber diferencias que se aclararán en las conclusiones.



Ejemplo de las temperaturas exteriores de la zona 8

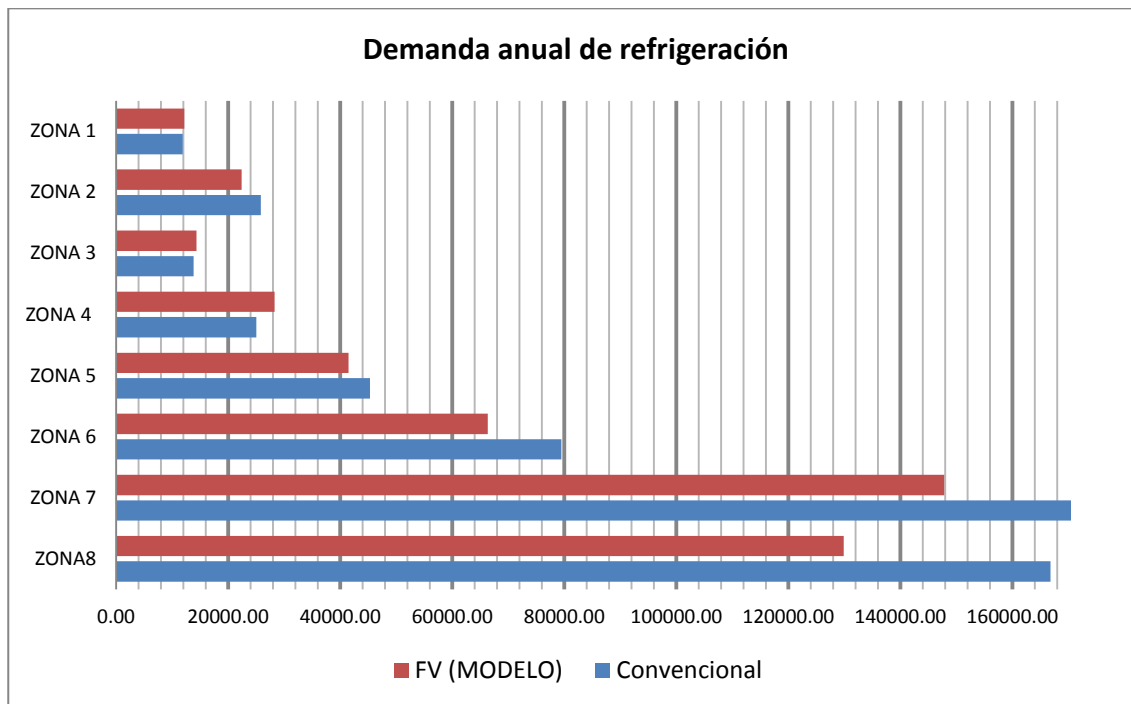
Análisis general

Un primer análisis se refiere al cerramiento convencional en Brasil. La comparación entre la fachada ventilada modelo y este cerramiento en todas las zonas térmicas se muestran abajo.



Demandas anuales de calefacción en todas las zonas(kWh)

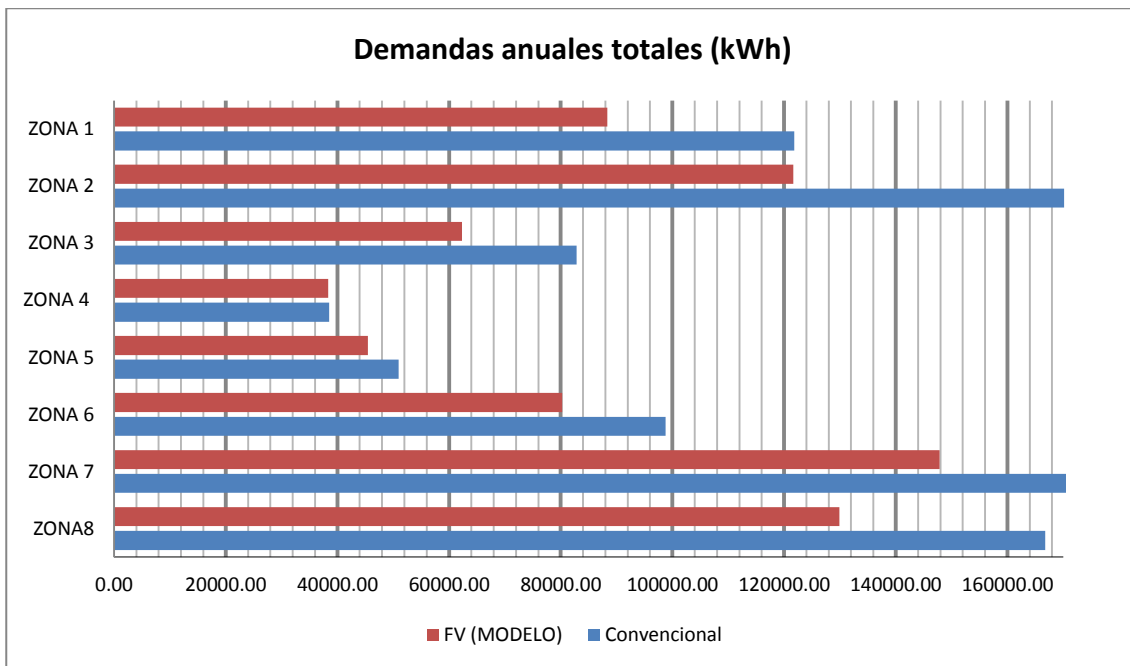
Está claro que los climas 1, 2 y 3 , donde hay estación fría, la fachada ventilada modelo, que tiene varias capas, incluso 2 capas aislantes (sumando 14cm de aislante térmico), tiene mejor comportamiento, presentando menores demandas de calefacción. Esto también pasa en las zonas 4, 5 y 6, pero la necesidad de calefacción en estas zonas es bastante pequeña.



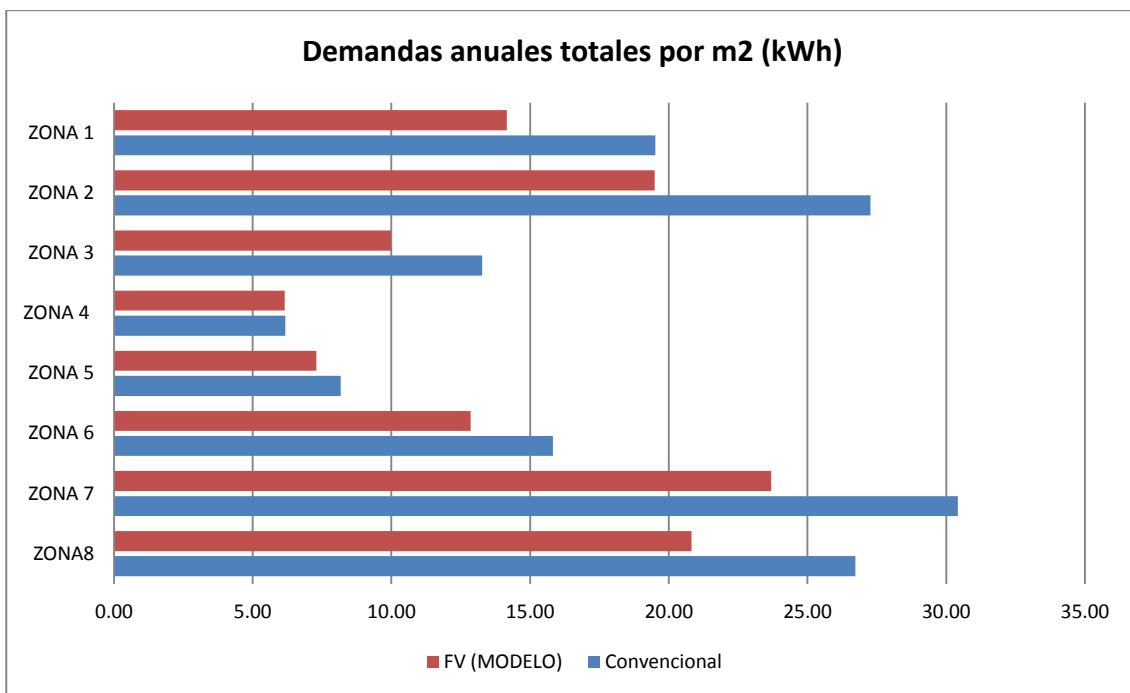
Demandas anuales de refrigeración en todas las zonas(kWh)

Cuando se analiza la demanda de refrigeración, se percibe que en las zonas 1, 2 y 3 las demandas para el cerramiento convencional y modelo son muy similares. En la zona 4 la demanda de la fachada modelo es un poco mayor que la demanda de la fachada convencional. Este clima es muy seco y con gran amplitud térmica diaria y anual, así necesita más masa térmica que aislamiento térmico. En las fachadas 5, 6, 7 y 8 la demanda de la fachada modelo es menor que la fachada convencional, siendo mayor diferencia en las zonas 7 y 8. Está claro que en las zonas 7 y 8 la necesidad de refrigeración es bastante mayor que en las otras zonas.

Analizando las demandas totales, se puede observar que la fachada ventilada modelo seria adecuada para las zonas 1, 2, 3, 5, 6, 7 y 8. En la zona 4 ambos cerramientos presentan la misma demanda energética. A partir de los análisis más específicos a continuación de cada zona se intentará entender estos resultados.



Demandas anuales totales en todas las zonas (kWh)



Demandas anuales totales en todas las zonas (kWh/m²)

6.1 Zonas Climáticas 1, 2 y 3

Las zonas climáticas 1, 2 y 3 tienen características semejantes en cuanto clima y su comportamiento es muy semejante cuando utilizada la fachada ventilada. Las tres zonas están situadas en sur y sureste del país. Abajo se presentan sus ubicaciones.

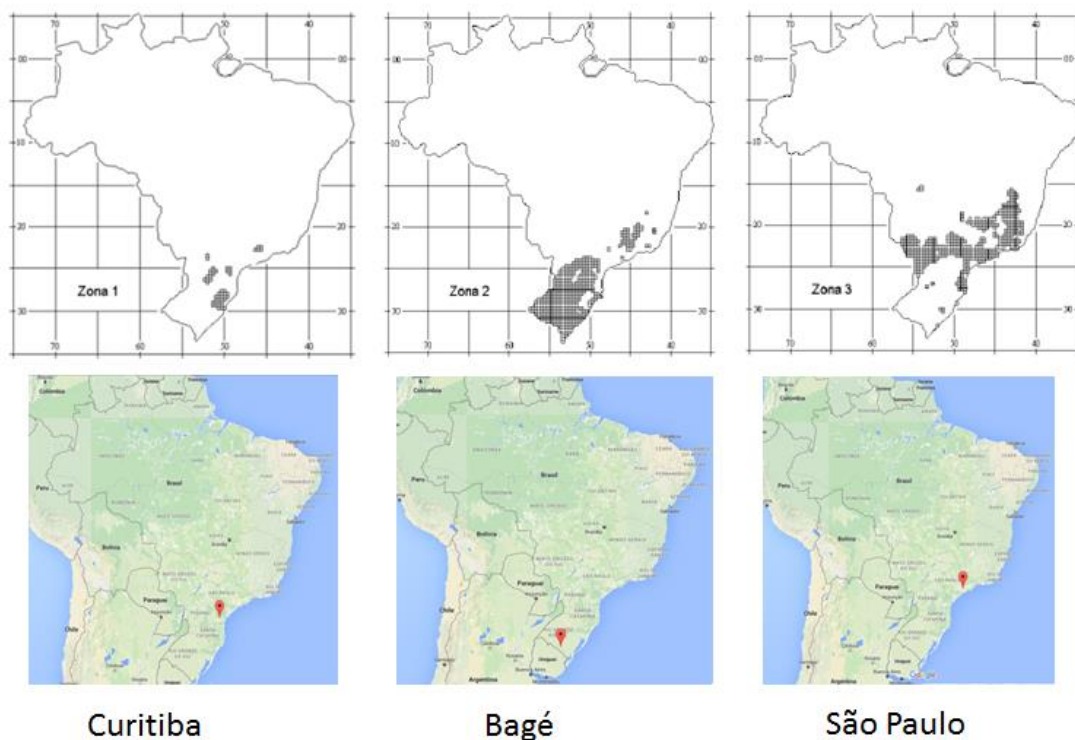
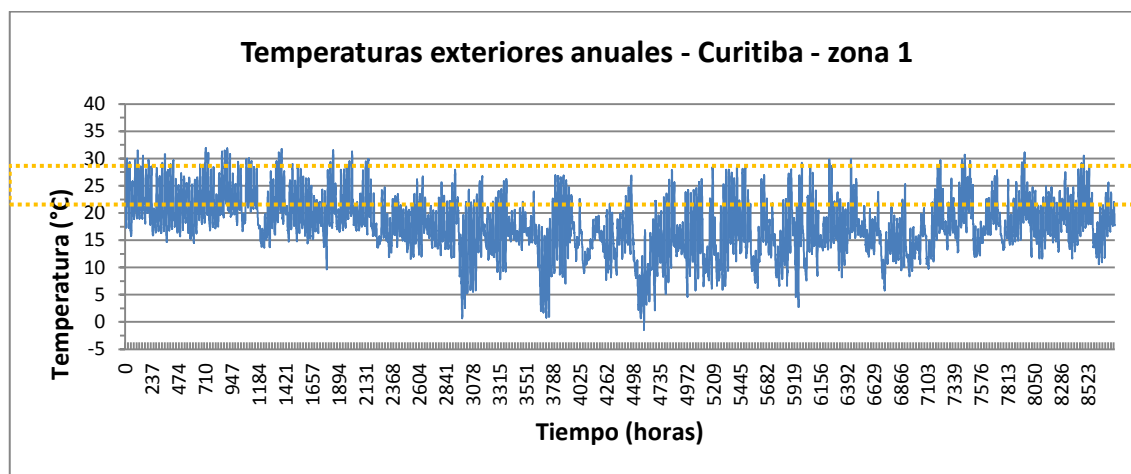
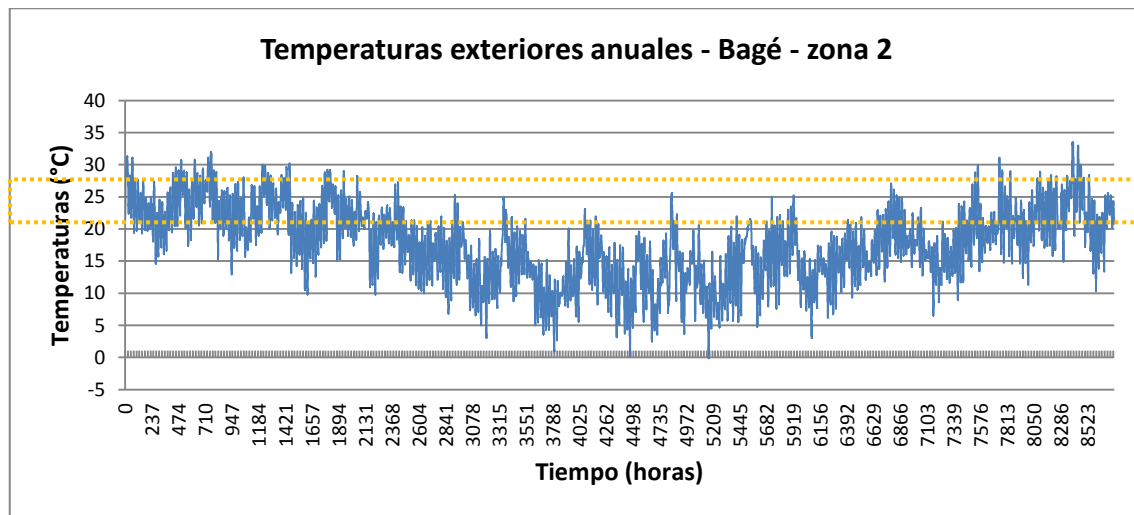


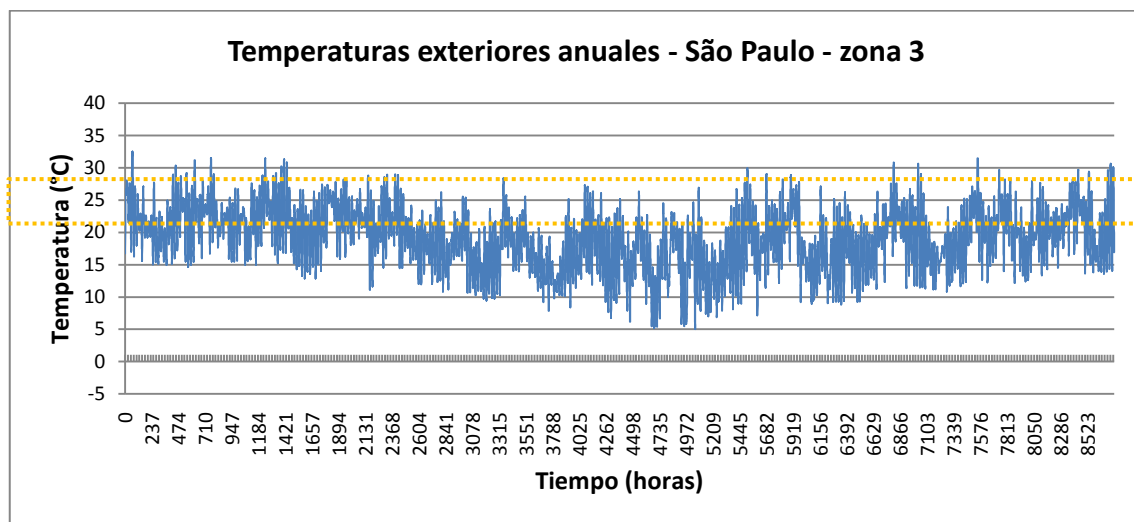
Fig. 152 Ubicación de las dos zonas y sus ciudades representativas.
Fuente: NBR 15220 y Googlemaps (2015)



Gráfica 17. Temperaturas anuales de la ciudad de Curitiba, sur del país, zona climática 1 (°C). La línea amarilla significa la zona de confort considerada para Brasil (21 a 27°C). Es posible percibir que mismo en verano las temperaturas nocturnas son bajas. Fuente: Archivos climáticos de METEONORM®.



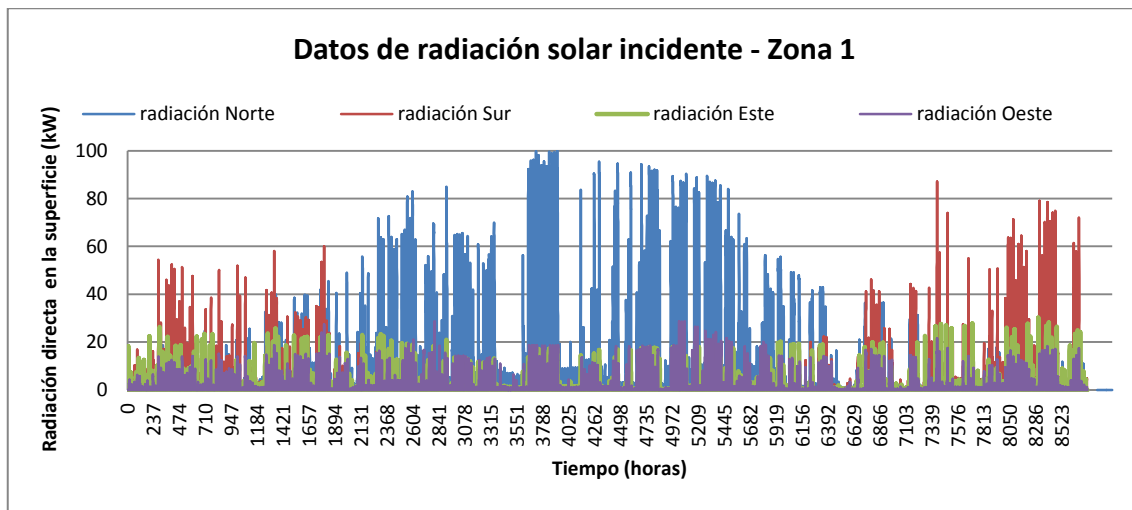
Gráfica 18. Temperaturas anuales de la ciudad de Bagé, sur del país, zona climática 2 (°C). La línea amarilla significa la zona de confort considerada para Brasil (21 a 27°C). Es posible percibir que mismo en verano las temperaturas nocturnas son bajas y en invierno casi siempre las temperaturas están por debajo de la zona de confort. Fuente: Archivos climáticos de METEONORM®.



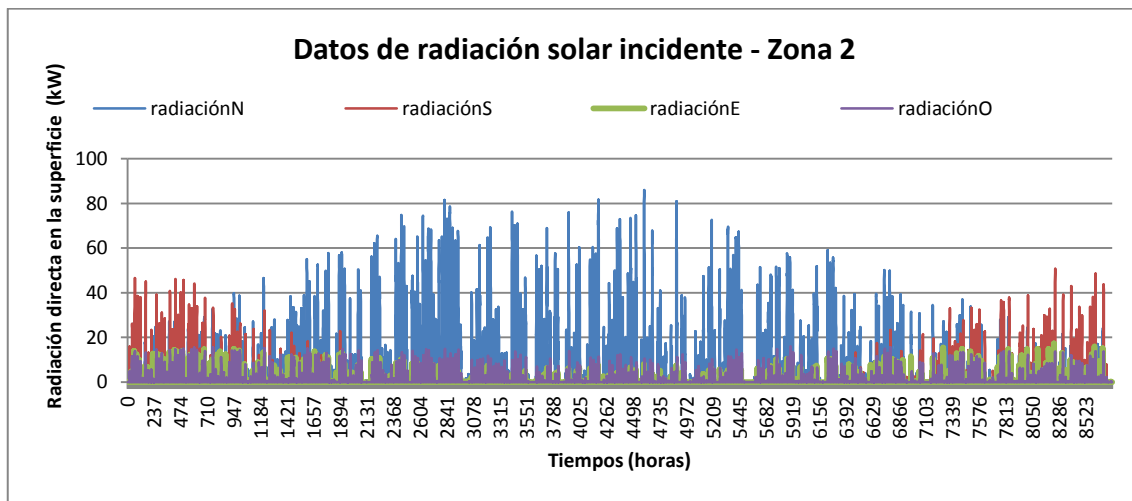
Gráfica 19. Temperaturas anuales de la ciudad de São Paulo, sureste del país, zona climática 3 (°C). La línea amarilla significa la zona de confort considerada para Brasil (21 a 27°C). De modo distinto de la zona 2, en invierno las temperaturas son un poco más altas, sin embargo en verano las temperaturas nocturnas están fuera de la zona de confort. Fuente: Archivos climáticos de METEONORM®.

6.1.1 Radiación solar en las diferentes fachadas del edificio

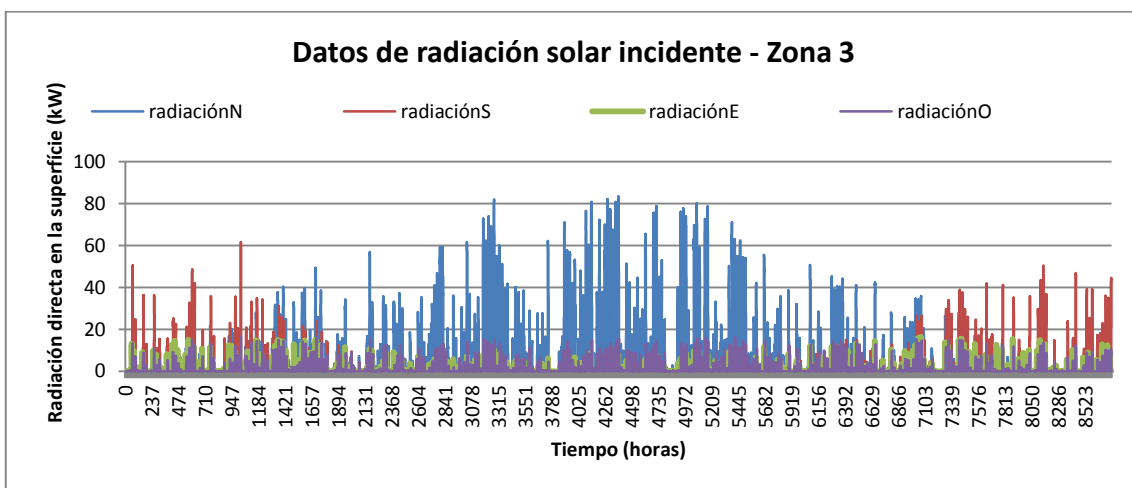
En este apartado están demostrados los datos anuales de radiación solar incidente en cada una de las fachadas del edificio. Los datos se han sacado de las simulaciones en Trnsys®. En las tres zonas la mayor incidencia está en la fachada norte en invierno. En verano la fachada sur recibe una cantidad menor de radiación. Este y Oeste reciben cantidades menores de radiación debido a su pequeña superficie en el edificio.



Gráfica 20. Datos de radiación solar incidente sobre os distintos planos – Zona 1 (kW). Fuente: Simulación en TRNSYS[®]



Gráfica 21. Datos de radiación solar incidente sobre os distintos planos – zona 2 (kW). Fuente: Simulación en TRNSYS[®]

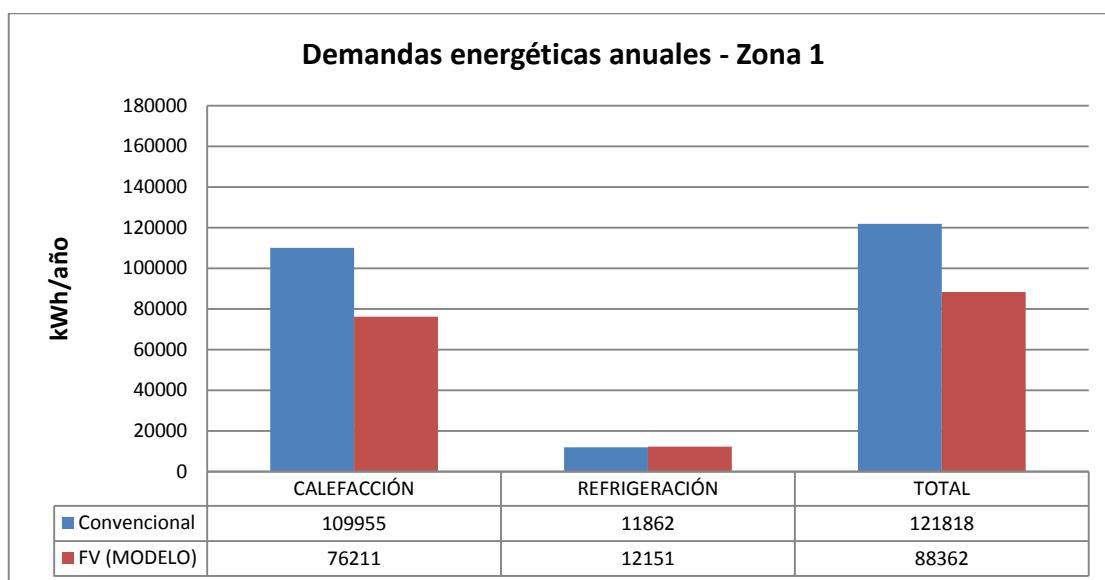


Gráfica 22. Datos de radiación solar incidente sobre os distintos planos – zona 3 (kW). Fuente: Simulación en TRNSYS[®]

En las zonas más frías del país, zona 1 y 2, para conseguir el confort interior hay mayor demanda de calefacción. Con la utilización de la fachada ventilada modelo se obtiene menor demanda de calor. Serán analizadas situaciones con calefacción y sin calefacción (que es la real situación en Brasil) para verificación del comportamiento térmico de la fachada ventilada.

La fachada ventilada modelo en la zona 1 presenta mejor comportamiento que la fachada convencional brasileña. La demanda energética de calefacción y refrigeración se reduce un 27,46%. Como la demanda de refrigeración es muy pequeña respecto la de calefacción, se observa que se reduce un 30,68% la demanda de calefacción al utilizar fachada ventilada.

En la zona 2 y 3 ocurre lo mismo, la demanda energética de calefacción y refrigeración se reduce un 28,52% en la zona 2 y un 24,80% en la zona 3. Analizando solamente la calefacción se observa que se reduce un 31,24% en la zona 2 y un 30,53% en la zona 3, al utilizarse fachada ventilada modelo.



Gráfica 23. Comparación de las demandas anuales de un edificio con fachada convencional y otro con la fachada ventilada modelo (kWh/año)

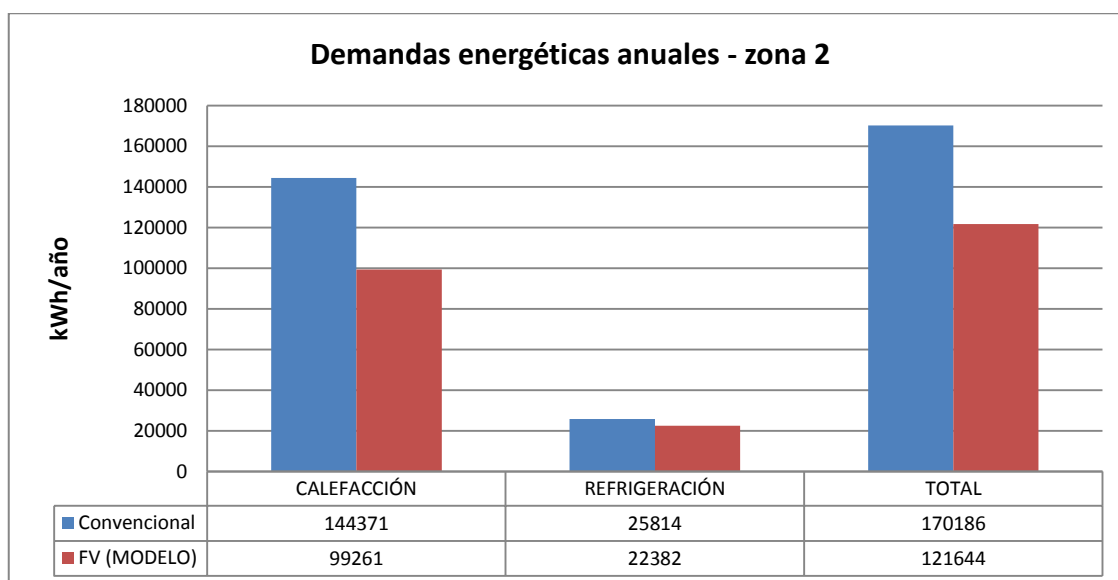


Fig. 24 Comparación de las demandas anuales de un edificio con fachada convencional y otro con la fachada ventilada modelo (kWh/año)

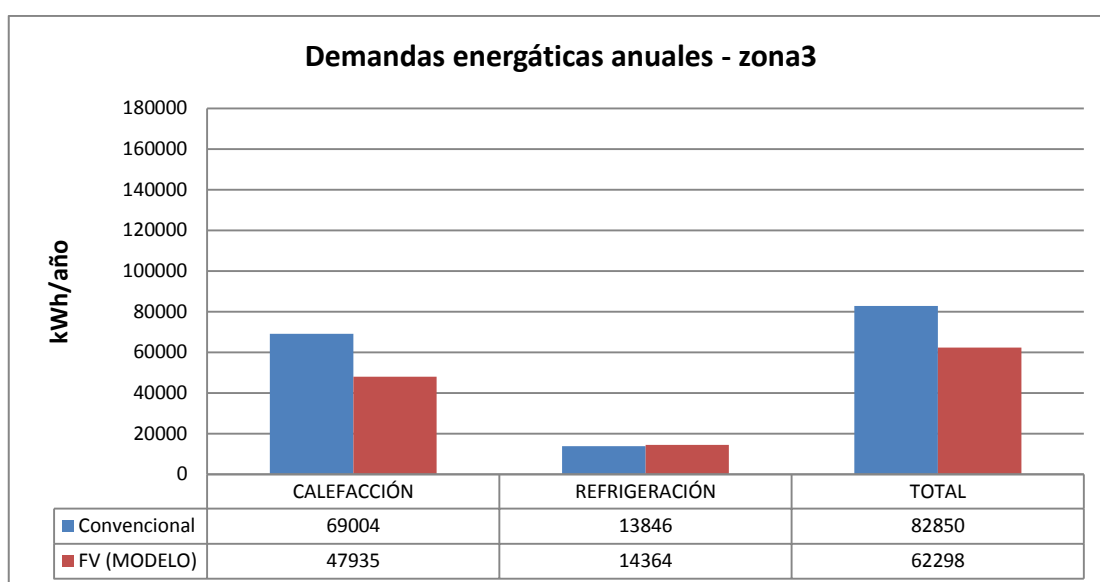


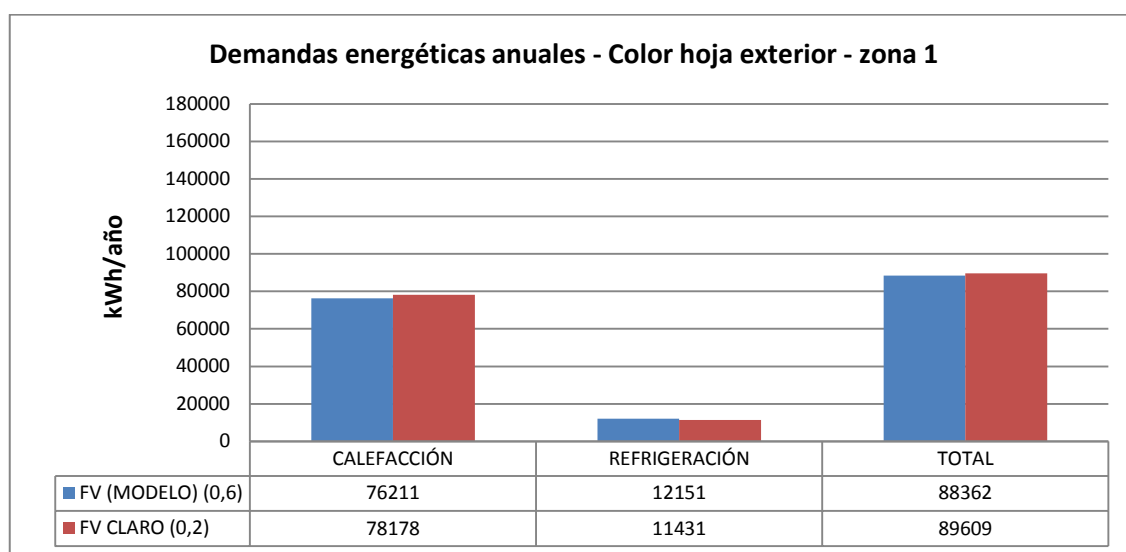
Fig. 25 Comparación de las demandas anuales de un edificio con fachada convencional y otro con la fachada ventilada modelo (kWh/año)

Así, con este resultado es posible verificar que la acción del aislamiento térmico, cuando las temperaturas exteriores son bajas, es muy importante. Información bastante conocida en los países fríos e ignorada en países en desarrollo con la mayor área del territorio predominantemente cálida.

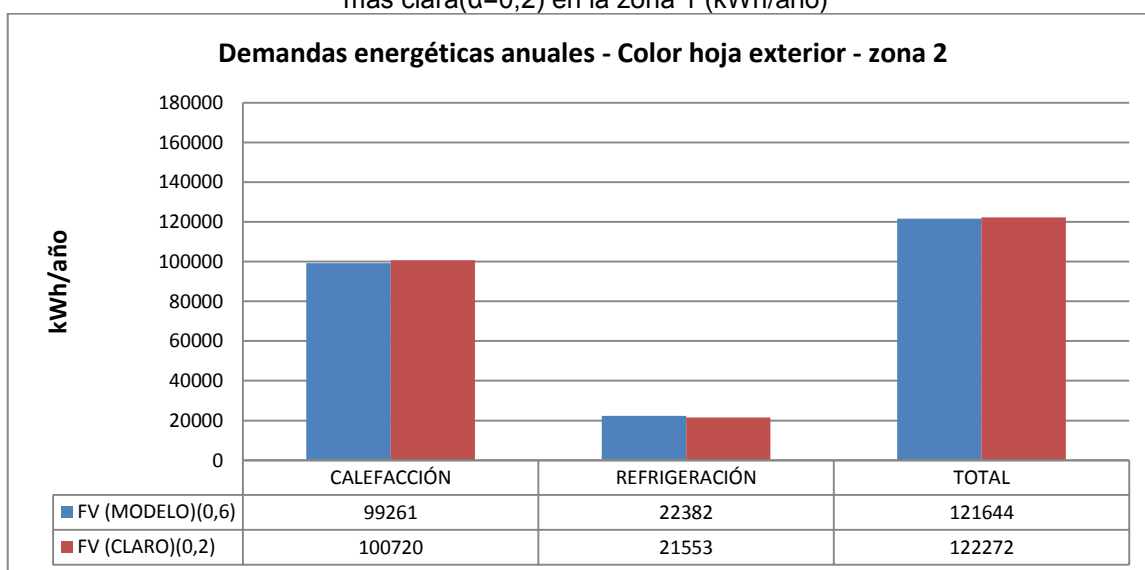
6.1.2 Color de la hoja exterior

La hoja exterior de la fachada ventilada modelo presenta una absorptividad solar de 0,6 (aluminio), la propuesta de esta simulación ha sido probar una absorptividad más baja ($\alpha=0,2$) y verificar que pasaría en estos tres climas.

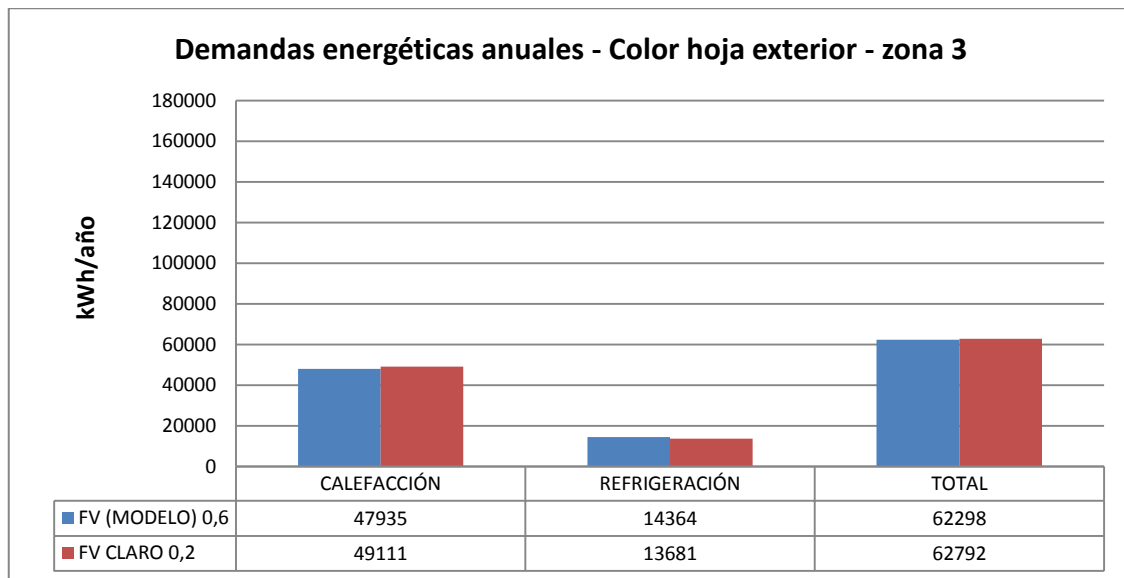
Al compararse el color del cerramiento, la fachada modelo una vez más presenta mejores resultados, 1,3% menos energía en la zona 1, 0,5 % en la zona 2 y 0,78% menos en la zona 3. Así, para estas tres zonas cerramientos más oscuros absorben más calor y permiten condiciones mejores de confort en los periodos más fríos. Sin embargo los porcentuales son bajos probando que el color del cerramiento exterior tiene poca influencia en el comportamiento de las fachadas en estos climas.



Gráfica 26. Comparación entre las demandas energéticas anuales de la fachada más oscura ($\alpha=0,6$) y la más clara ($\alpha=0,2$) en la zona 1 (kWh/año)

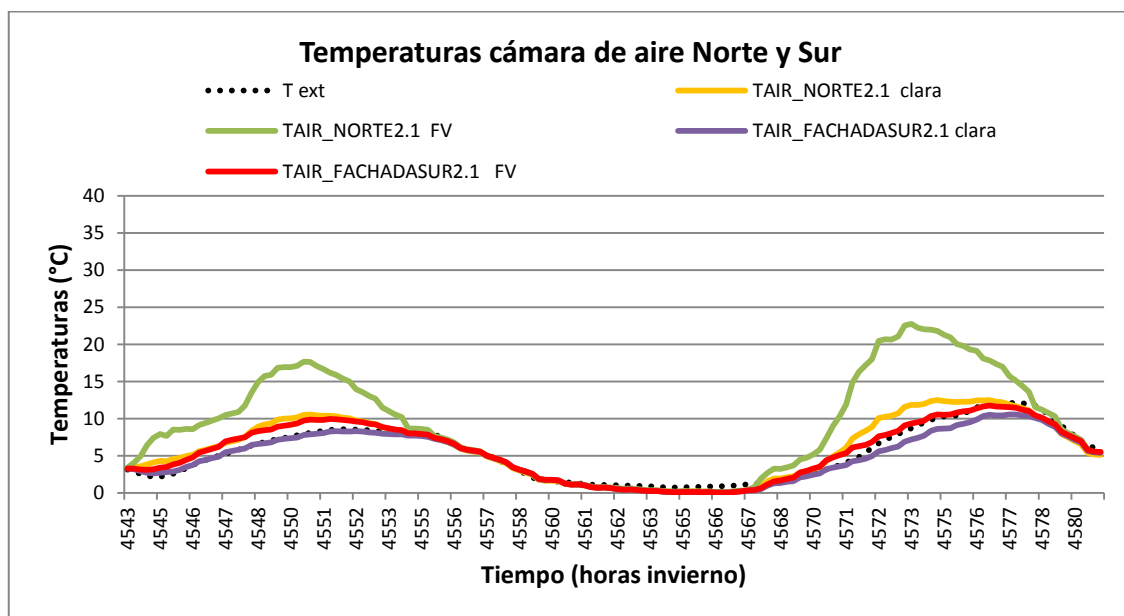


Gráfica 27. Comparación entre las demandas energéticas anuales de la fachada más oscura ($\alpha=0,6$) y la más clara ($\alpha=0,2$) en la zona 2 (kWh/año)



Gráfica 28. Comparación entre las demandas energéticas anuales de la fachada más oscura ($\alpha=0,6$) y la más clara ($\alpha=0,2$) en la zona 3 (kWh/año)

Al observar en detalle las temperaturas de la cámara de aire de la fachada modelo durante dos días de invierno (planta 2¹³) en las fachadas norte y sur de la zona 1, se puede verificar la diferencia de temperaturas en el norte y también se puede concluir que cuando no hay incidencia de sol (como la fachada sur) las temperaturas no cambian de forma sustancial¹⁴, varían conforme la temperatura exterior.

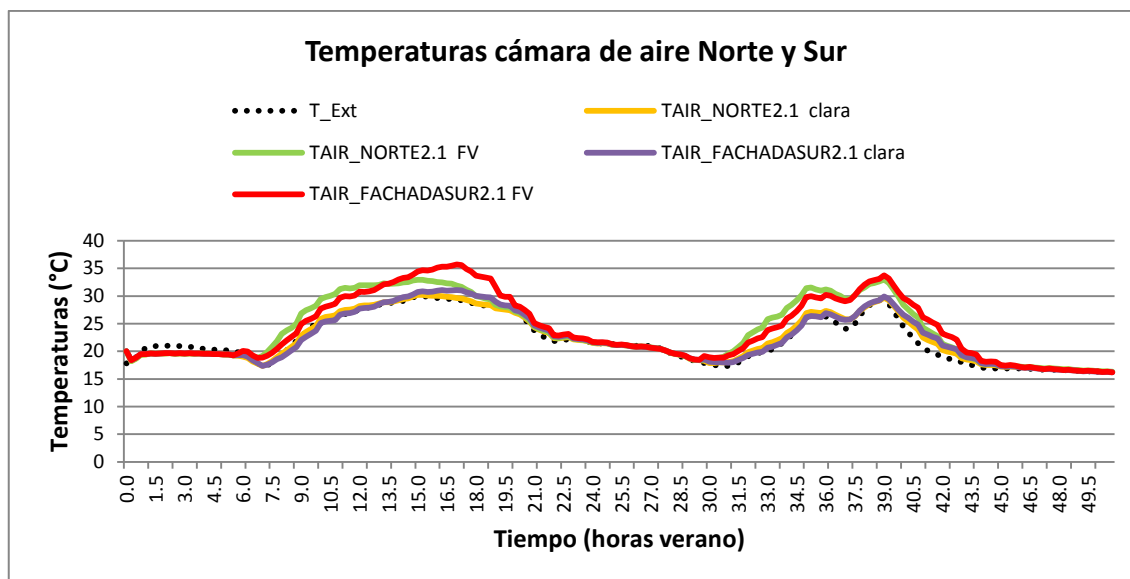


Gráfica 29. Comparación de las temperaturas en invierno de las cámaras de aire Norte y Sur de color oscura (FV) y de color claro (clara), zona 1.

¹³ La planta 2 ha sido elegida para la evaluación pues está en el medio del edificio, no es afectada por el suelo ni por la cubierta.

¹⁴ Este factor también ha sido percibido por otras investigaciones como se puede comprobar en el estado de arte de esta investigación.

Aunque de las temperaturas en la fachada norte más oscura son más altas, casi 10°C en la hora de mayor incidencia solar, esto no se refleja en las demandas. La fachada clara presenta temperaturas semejantes a las fachadas que no reciben sol.



Gráfica 30. Comparación de las temperaturas en verano de las cámaras de aire Norte y Sur de color oscura (FV) y de color claro (clara), zona 1.

En verano las temperaturas son muy similares en ambas fachadas y siguen el perfil de la temperatura exterior. Esto es debido a la ausencia de la radiación solar incidente.

El color es indiferente si no hay incidencia solar. En verano la incidencia solar es un poco mayor en la fachada sur pero no se observa diferencia sustancial en las temperaturas. En esta época la fachada se calienta menos.

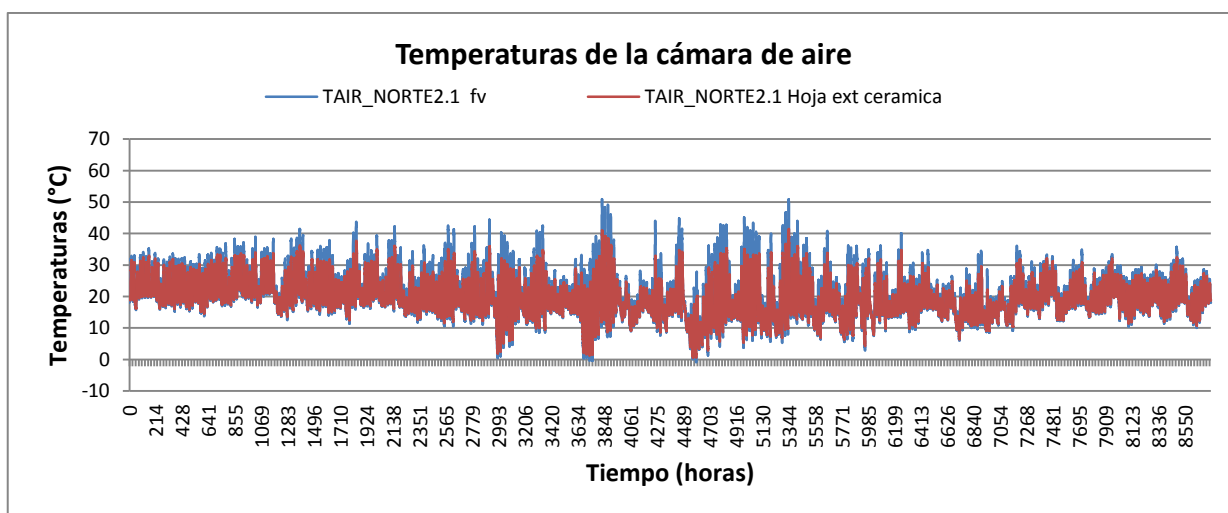
En conclusión el color del cerramiento exterior afecta poco el comportamiento general de la fachada ventilada modelo, sin embargo el color más oscuro parece ser más adecuado para estos climas.

6.1.3 Hoja exterior

Cambiar solamente el material de la hoja exterior, desde una ligera (fachada modelo de aluminio) para otra con más masa (cerámica con aire en su interior) no presentó cambios sustanciales en las demandas, sin embargo se observa la tendencia a disminuir la demanda de refrigeración.

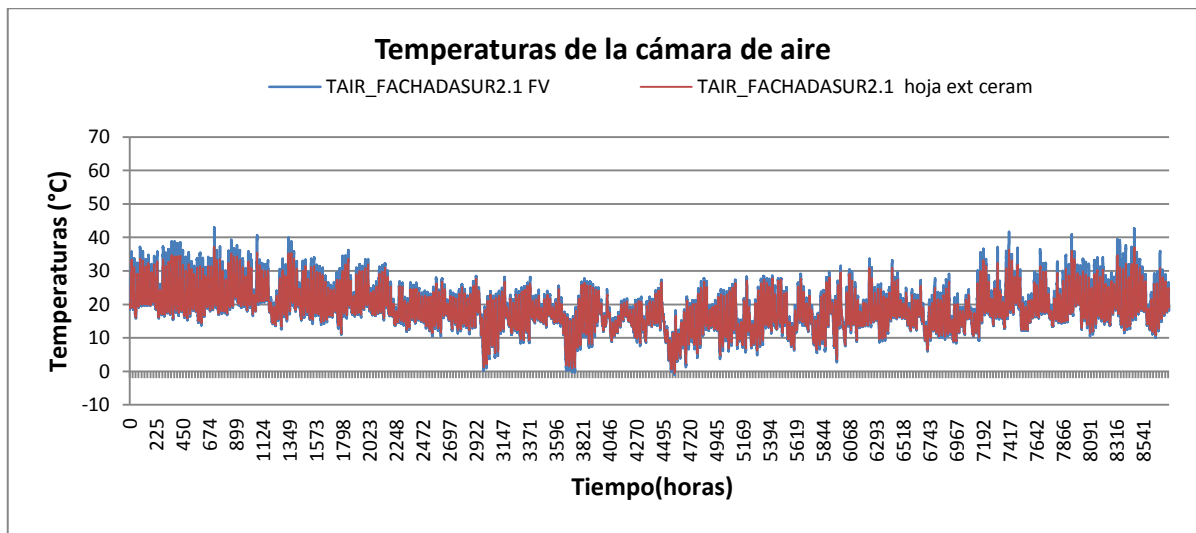
	CALEFACCIÓN(kWh/año)	REFRIGERACIÓN(kWh/año)	TOTAL(kWh/año)	
FV (MOD)	76211	12151	88362	Zona 1
FV ceram	76475	11852	88327	
	CALEFACCIÓN(kWh/año)	REFRIGERACIÓN(kWh/año)	TOTAL(kWh/año)	
FV (MODELO)	99261	22382	121643	Zona 2
FV ceram	99443	22086	121529	
	CALEFACCIÓN(kWh/año)	REFRIGERACIÓN(kWh/año)	TOTAL(kWh/año)	
FV (MOD)	47935	14363	62298	Zona 3
FV ceram	48040	14086	62126	

La demanda de refrigeración es menor cuando la hoja exterior tiene más masa, esto quiere decir que en verano esta masa térmica reduce la cantidad de calor que pasa para dentro del cerramiento.



Gráfica 31. Temperaturas de la cámara de aire en la fachada modelo (FV) y con la hoja exterior cerámica. Fachada Norte – zona 1

Las temperaturas en la cámara de aire norte son mayores con la fachada ventilada modelo y en la fachada sur, enseñada abajo, son muy similares.



Gráfica 32. Temperaturas de la cámara de aire en la fachada modelo (FV) y con la hoja exterior cerámica. Fachada Sur, zona 1.

Otra observación importante es que la fachada ventilada, en la orientación que recibe radiación solar directa y que posee la cámara ventilada continua, presenta el efecto chimenea, factor también verificado en otras investigaciones en el estado de arte de esta investigación. El confort térmico del 4° piso es bastante peor debido a este efecto y la influencia de la cubierta. La diferencia de temperaturas entre la fachada norte y sur es bastante grande.

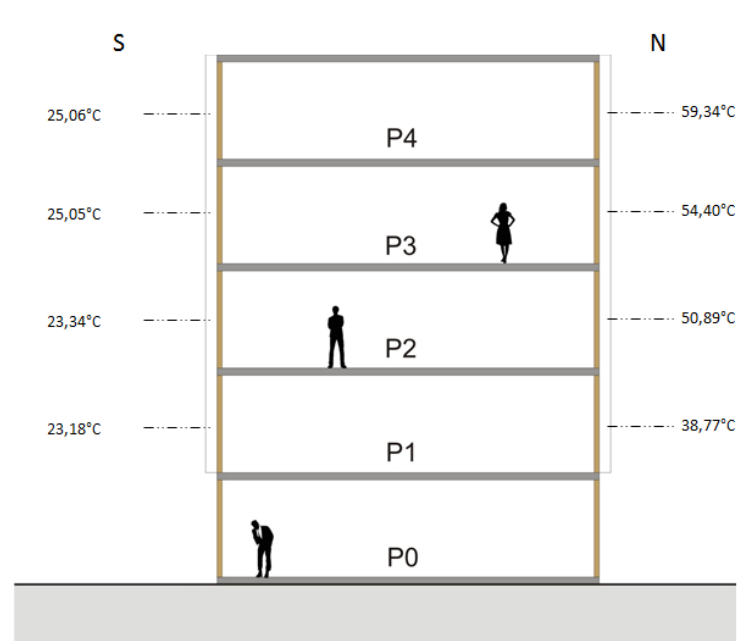


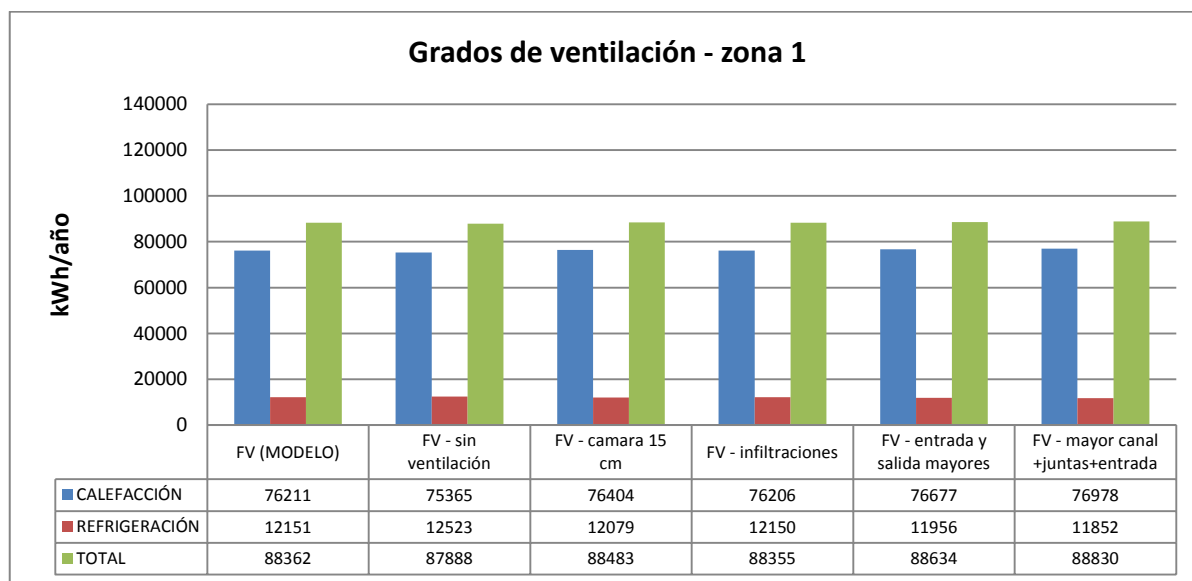
Fig. 153 Perfil de las temperaturas de la cámara de aire, en invierno, en la zona 1 con la fachada ventilada modelo – efecto chimenea, principalmente en la fachada norte (mayor incidencia de radiación solar)

6.1.4 Grados de ventilación

Han sido comparados diferentes tipos de ventilación de la cámara:

- Fachada Modelo: entrada y salida de aire de 1cm, cámara de aire de 9 cm de ancho, juntas cerradas.
- Ventilación 1: sin ventilar.
- Ventilación 2: aumento de la cámara para 15 cm de ancho.
- Ventilación 3: aumento de la entrada y salida para 9 cm.
- Ventilación 4: presencia de infiltraciones (5r/h) para simular las juntas abiertas.
- Ventilación 5: Cámara aumentada + entradas y salidas mayores+ infiltraciones (todo aumentado).

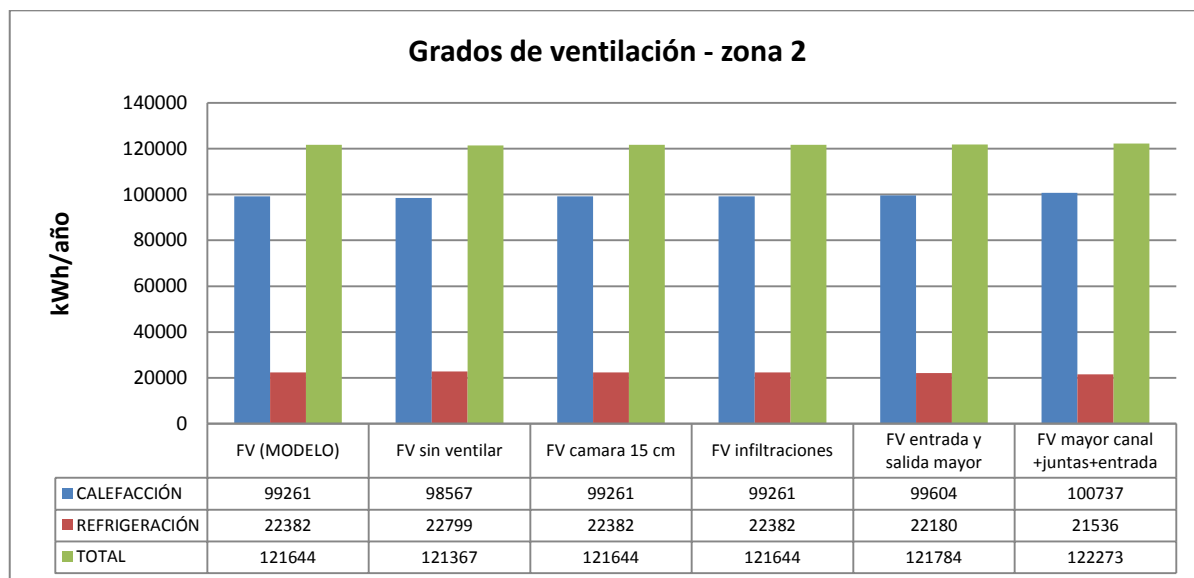
Al compararse estos distintos tipos de ventilación de la fachada modelo se puede observar que los resultados son similares, lo que parece es que la cantidad de aire que pasa por la cámara, cuando hay aislamiento térmico, no afecta sustancialmente el comportamiento térmico del edificio en estas zonas.



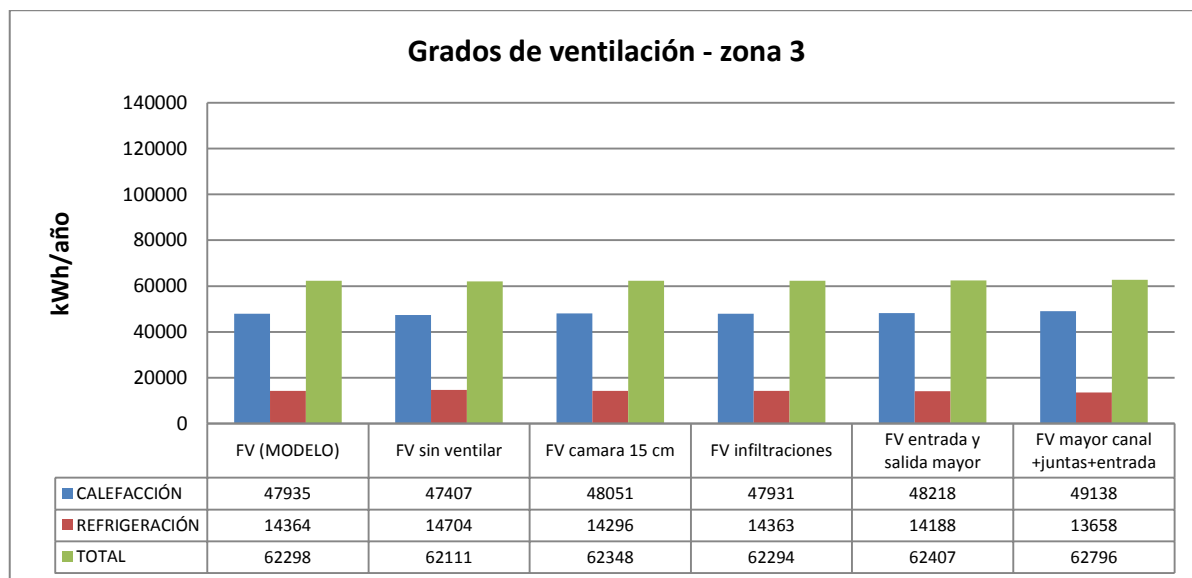
Gráfica. 33 Comparaciones de demandas anuales entre diferentes tipos de ventilación de la fachada ventilada modelo, zona 1

La ausencia de ventilación es beneficiosa para la demanda de calefacción que disminuye 1,11% en la zona 1. La mayor cantidad de aire en la cámara (mayor canal, juntas y mayores entradas y salidas) disminuye la demanda de refrigeración en 2,47%. Sin embargo porque la demanda de calefacción es mucho mayor que la de refrigeración, la menor demanda total resulta del cerramiento sin ventilar.

Este proceso si repite en las otras dos zonas: la mayor cantidad de aire en la cámara disminuye la demanda de refrigeración en 0,98 % y en 4,9% en las zonas 2 y 3 respectivamente. La ausencia de ventilación es beneficiosa para la demanda de calefacción que disminuye 0,7 % en la zona 2 y 1,1% en la zona 3.



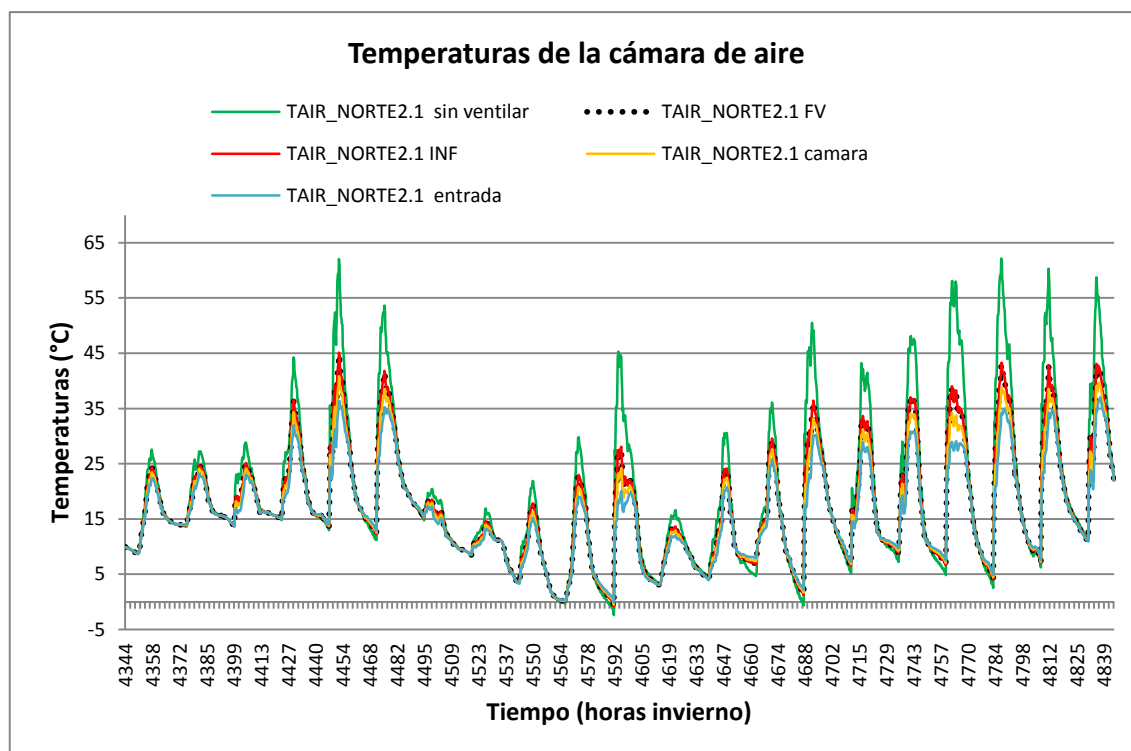
Gráfica 34. Comparaciones de demandas anuales entre diferentes tipos de ventilación de la fachada ventilada modelo, zona 2



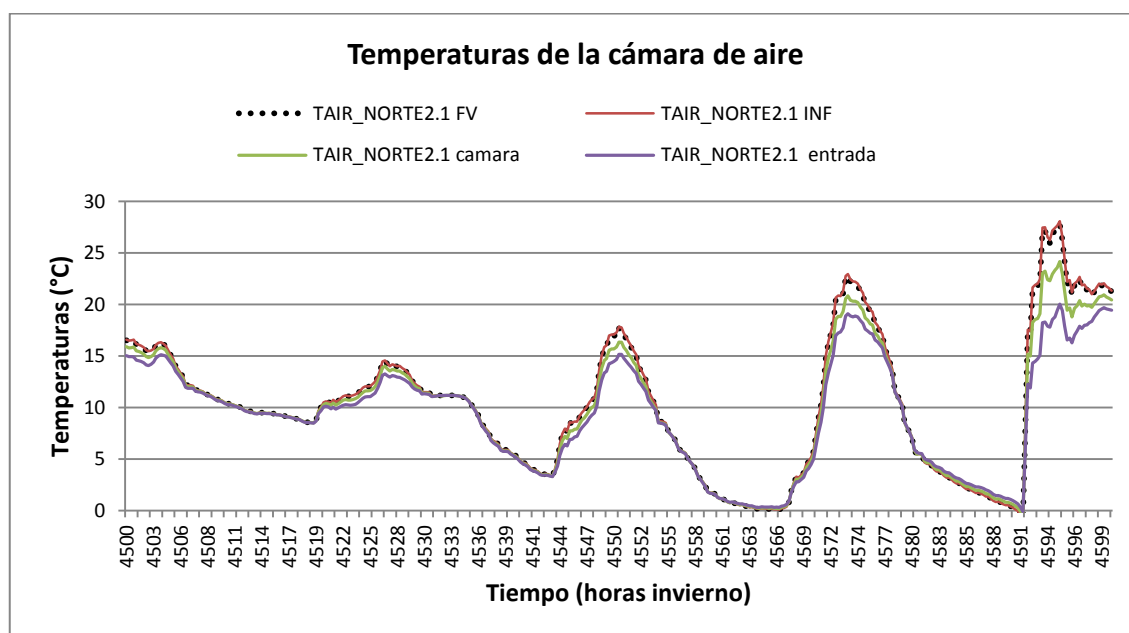
Gráfica 35. Comparaciones de demandas anuales entre diferentes tipos de ventilación de la fachada ventilada modelo, zona 3.

Por otro lado observando el perfil de temperaturas de la fachada norte en invierno de la zona 1(abajo), es posible observar la diferencia en las temperaturas de la

cámara, cuando la cantidad de aire aumenta, las temperaturas bajan, que es problema para climas fríos en invierno. En las demandas de energía esto no queda tan claro. Cuando el edificio está muy aislado parece que el grado de ventilación no le afecta.



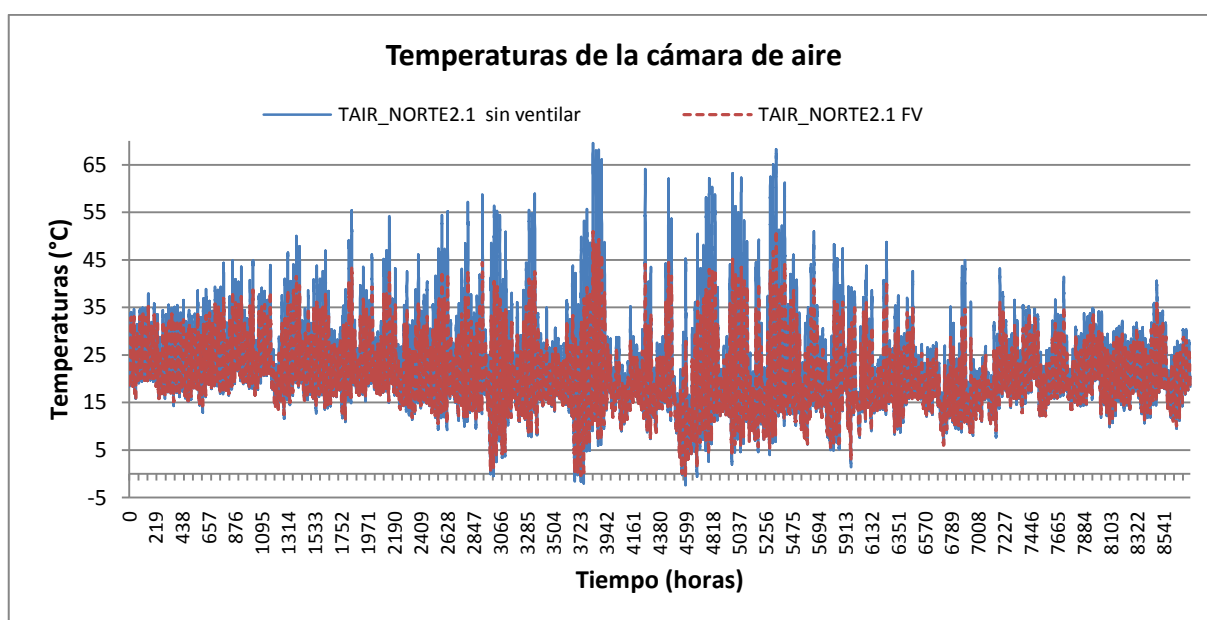
Gráfica 36. Temperaturas de la cámara de aire (invierno) de la fachada sin ventilar, la fachada modelo (FV), la fachada con entradas y salidas mayores (entrada), la fachada con juntas abiertas (INF), la fachada con cámara más ancha (cámara).



Gráfica 37. Detalle de las temperaturas de la cámara de aire en invierno, por la noche no hay variación.

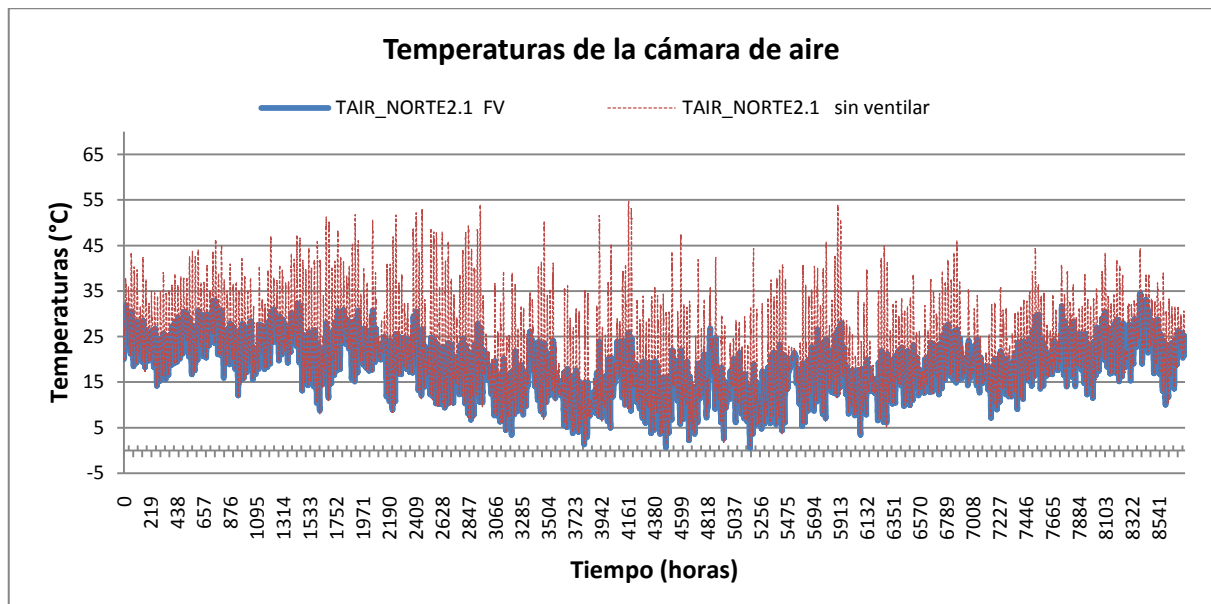
El detalle de temperaturas de la cámara en la zona 1 durante 3 días en invierno se muestra arriba (ver gráfica 37), las mayores temperaturas se dan en la fachada modelo y la que presenta infiltraciones, seguidas por la mayor anchura de la cámara y por último el tamaño de las entradas y salidas. La conclusión que se llega es que cuando se aumentan entradas y salidas hay más ventilación y aumentar el ancho de la cámara o las juntas para ventilación tienen menor efecto de ventilación (esta conclusión es más importante para las otras zonas cálidas).

Se puede observar abajo en la gráfica las diferencias de temperaturas de la cámara (con y sin ventilación) en la fachada norte principalmente en invierno de la zona 1. La temperatura en la cámara sin ventilar puede llegar a los 70°C, mientras con ventilación llega a los 50°C.

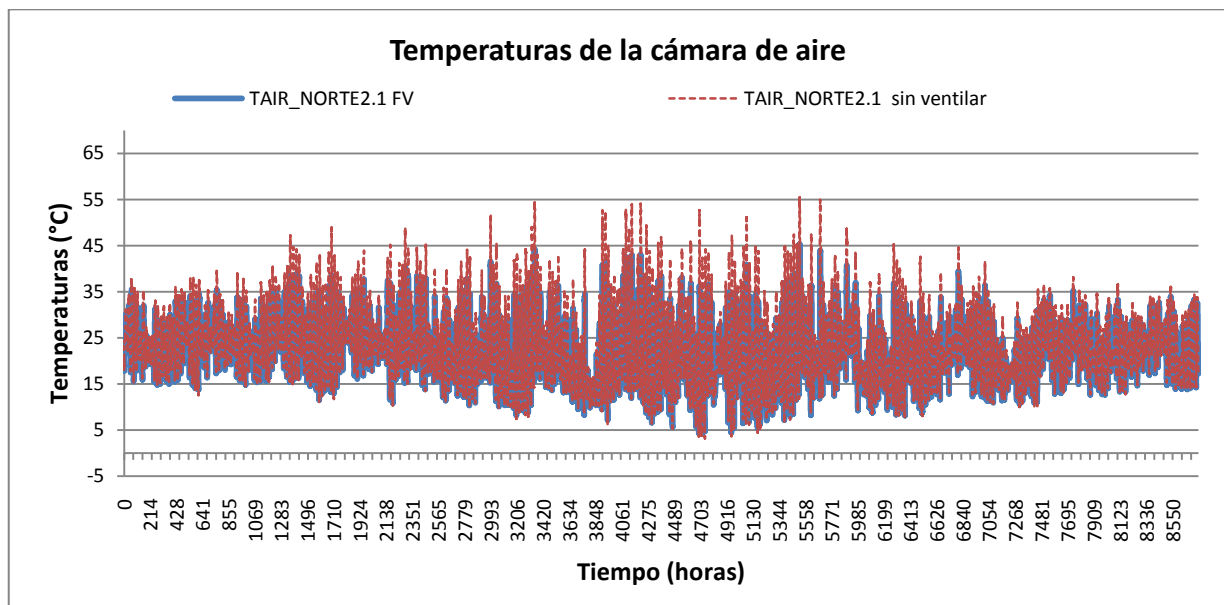


Gráfica 38. Comparación entre las temperaturas de cámaras sin ventilar y de la fachada modelo (FV) en la zona 1

El mismo efecto que se percibe en la zona 1 ocurre en las zonas 2 y 3. Sin embargo en la zona 3 la diferencia entre las dos temperaturas es menor, debido al menor rigor del clima.

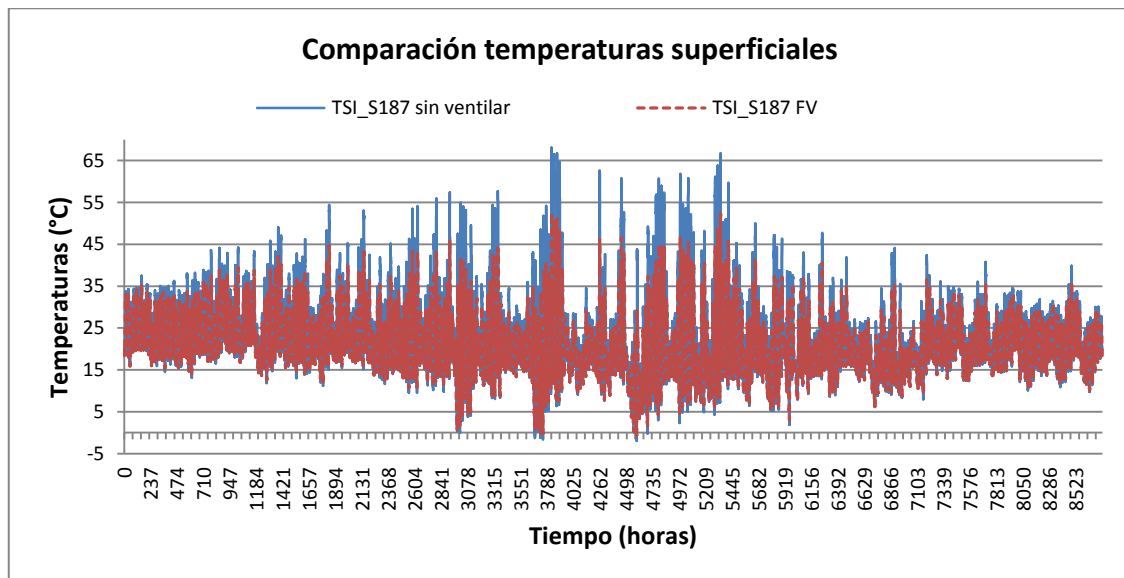


Gráfica 39. Comparación entre las temperaturas de cámaras sin ventilar y de la fachada modelo (FV) en la Zona 2



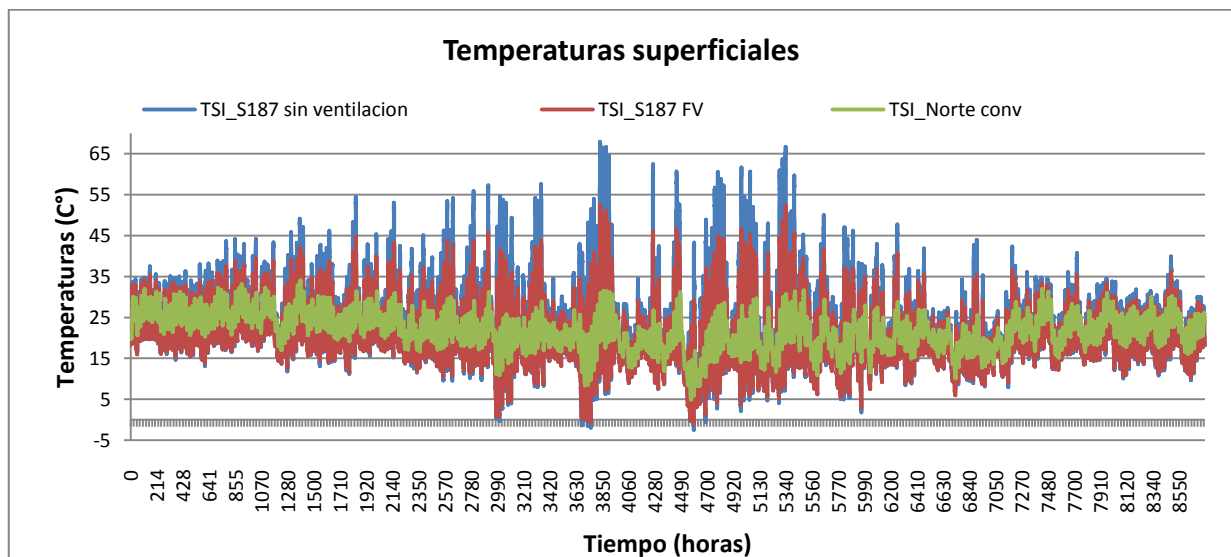
Gráfica 40. Comparación entre las temperaturas de cámaras sin ventilar y la fachada modelo(FV) Zona 3

Abajo están presentadas las temperaturas superficiales de la hoja interior dentro de la cámara. Es importante analizar esta gráfica de temperatura pues en Brasil no existe calefacción, con una cámara llegando a la temperatura de casi 70°C, en invierno, seguramente esto es revertido para el confort interior.



Gráfica 41. Comparación entre temperaturas superficiales dentro de la cámara, sin ventilar y la fachada modelo (FV) zona 1

En la gráfica inferior (gráfica 42) se muestran también las temperaturas superficiales interiores del ambiente sin acondicionamiento artificial, se puede observar que las altas temperaturas de la fachada sin ventilación contribuyen en el confort interior principalmente en invierno. La fachada analizada ha sido la norte que recibe mayor cantidad de radiación en invierno (las líneas amarillas marcan los límites de confort en Brasil).

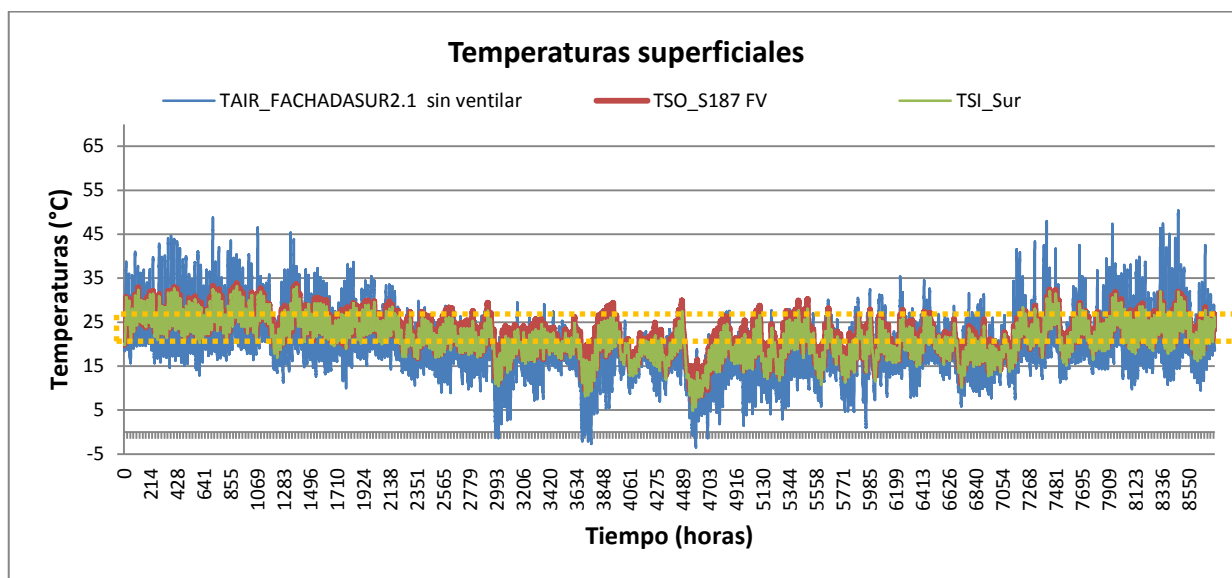


Gráfica 42. Comparación entre temperaturas superficiales internas de la fachada modelo (FV), la sin ventilar y la convencional en Norte. Zona 1

La temperatura máxima es 65°C, en este momento la pared irradia calor hacia el ambiente interior que está frío y aumenta su temperatura y la sensación de confort. Este efecto es muy beneficioso para los 3 climas que presentan invierno.

Si en este modelo hubiese particiones de los ambientes interiores, sería posible percibir la mayor variación en la temperatura interior.

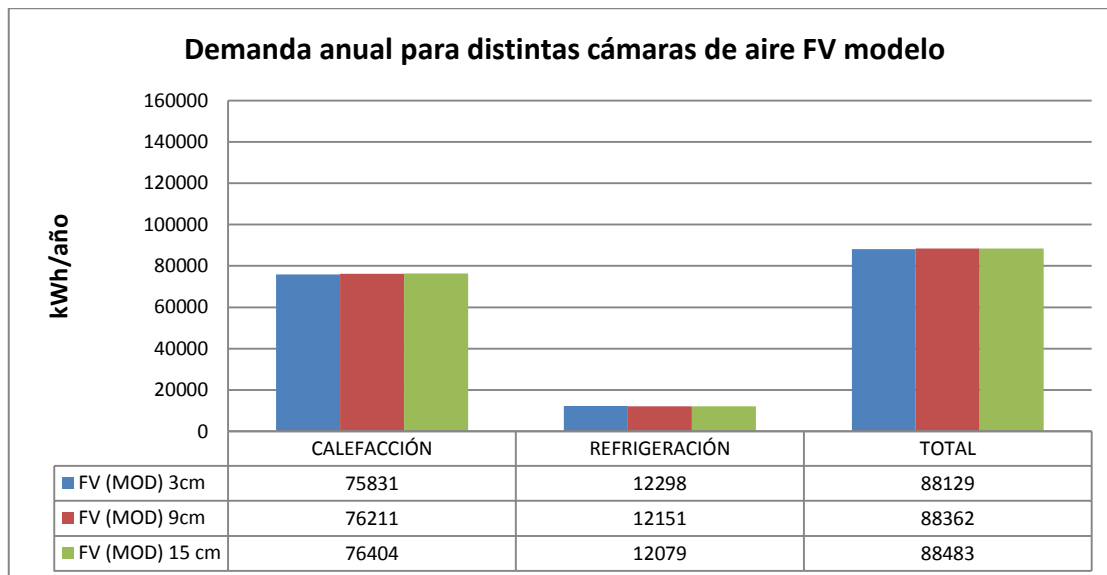
En la gráfica inferior (gráfica 43) están las temperaturas superficiales interiores en la fachada sur, el comportamiento de la fachada ventilada y la convencional es muy similar y la fachada sin ventilación presenta en invierno las temperaturas más bajas.



Gráfica 43. Comparación entre temperaturas superficiales interiores de la fachada modelo (FV), la sin ventilar y la convencional, en Sur. Zona 1.

6.1.5 Cámara de aire

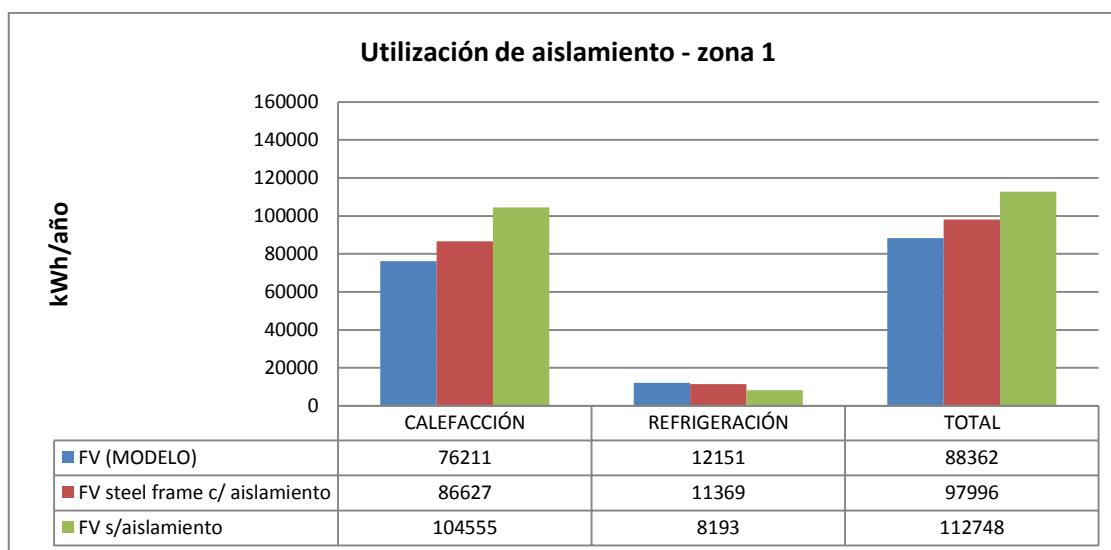
Otro factor evaluado ha sido el ancho de la cámara de aire y los resultados demuestran que cuando hay aislamiento térmico con gran espesor, la demanda resultante independe del ancho de la cámara. Han sido probados 3cm (mínimo exigido por el Código Técnico de España), 9 cm (modelo), 15 cm (resultados positivos en otras investigaciones). La menor demanda es para la cámara de 3cm pero la diferencia es pequeña un 0,4% menos que la fachada de 15 cm de ancho.



Gráfica 44. Demandas anuales para diferentes anchos de la cámara ventilada en la zona 1.

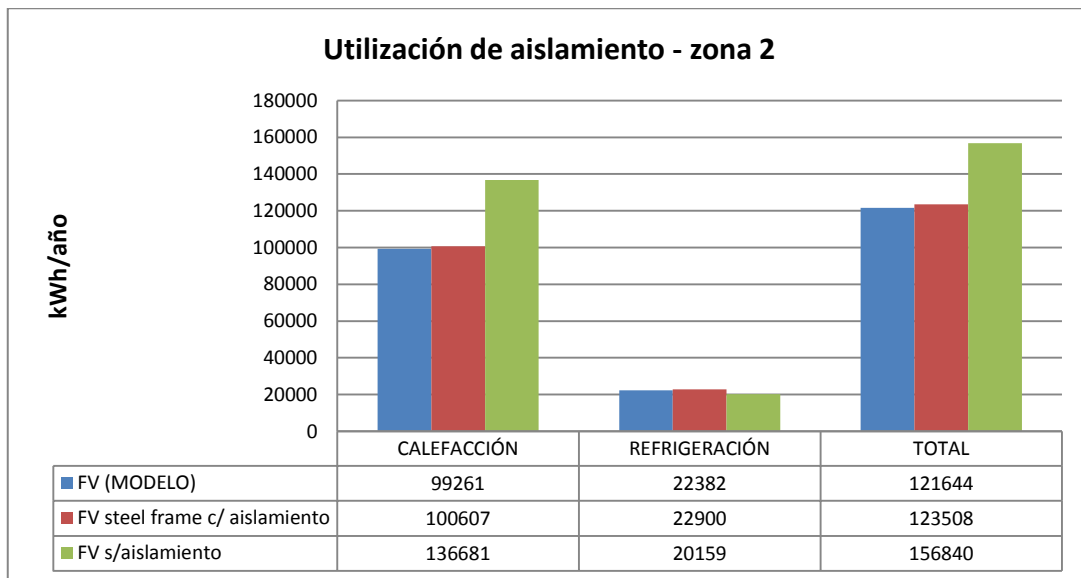
6.1.6 Aislamiento térmico

El uso de aislamiento térmico en fachadas ventiladas en Brasil no es común, así se ha comparado la fachada modelo ($U=0,245 \text{ W/m}^2\text{°C}$)¹⁵ con una fachada ventilada de hoja interior de ladrillo sin aislamiento (convencional, $U=3,029 \text{ W/m}^2\text{°C}$) y una fachada ligera con aislamiento interior de 10 cm (Steel Frame, $U= 0,272 \text{ W/m}^2\text{°C}$) bastante utilizada en el país. Las hojas exteriores son de aluminio como el modelo. El objetivo de estas simulaciones era probar las situaciones comunes en el país y confrontarlas con la fachada modelo, con buen aislamiento térmico.

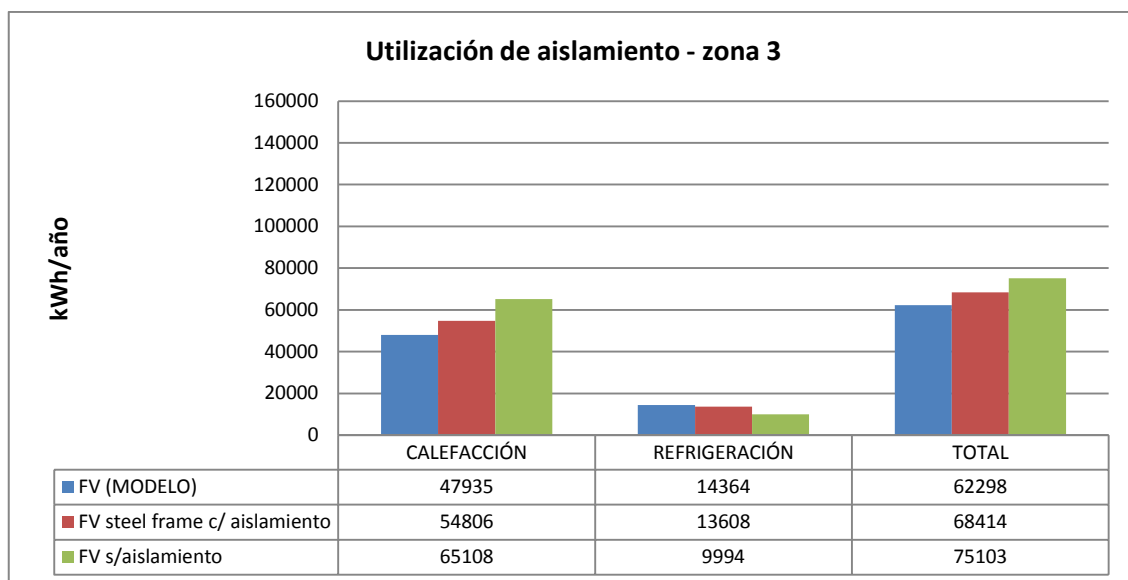


Gráfica 45. Comparación entre las demandas anuales de la fachada con distintos aislamiento y sin aislamiento (kWh/año)

¹⁵ El valor de la transmitancia es calculado según el CTE de España.



Gráfica 46. Comparación entre las demandas anuales de la fachada con distintos aislamiento y sin aislamiento (kWh/año)



Gráfica 47. Comparación entre las demandas anuales de la fachada con distintos aislamiento y sin aislamiento (kWh/año)

Observando las gráficas se concluye decididamente que el aislamiento térmico es importante en estas zonas, una vez que los dos cerramientos que presentan algún tipo de aislante obtienen demandas menores que el que no tiene aislante.

Sin embargo la hoja interior puede ser ligera pero su transmitancia debe ser pequeña como ocurre con el modelo ($U=0,245 \text{ W/m}^2\text{°C}$). El steelframe estudiado presenta transmitancia de $1,92 \text{ W/m}^2\text{°C}$, lo que hace que su comportamiento sea peor, gastando más energía.

6.1.7 Otros cambios

Observando los resultados de estas simulaciones lo que se propuso fue cambiar la fachada ventilada hasta encontrar un resultado mejor, es decir, ¿qué otros factores además del aislamiento, color, ventilación y hoja exterior podrían ofrecer un mejor comportamiento?

Así se probaron: hoja interior pesada, baja emisividad en la cámara de aire, hoja interior ligera sin aislamiento y así se mezclaron con otras características que habían funcionado bien en las primeras simulaciones como el color oscuro y la cámara sin ventilación.

- Hoja interior convencional (ladrillo hueco), hoja exterior cerámica clara. Esta es la configuración más común de la fachada ventilada en Brasil. (A)
- Hoja interior ladrillo macizo, hoja exterior cerámica clara, entrada y salida mayores. Esta es otra posibilidad de fachada sin aislamiento. (B)
- Hoja interior ladrillo macizo, hoja exterior cerámica clara, entrada y salida mayores, emisividad baja dentro de la cámara (0,05). La baja emisividad tiene como objetivo no dejar el calor entrar en la cámara, en este clima (1) no ha sido eficiente, pero en climas más cálidos es una buena solución.(C)

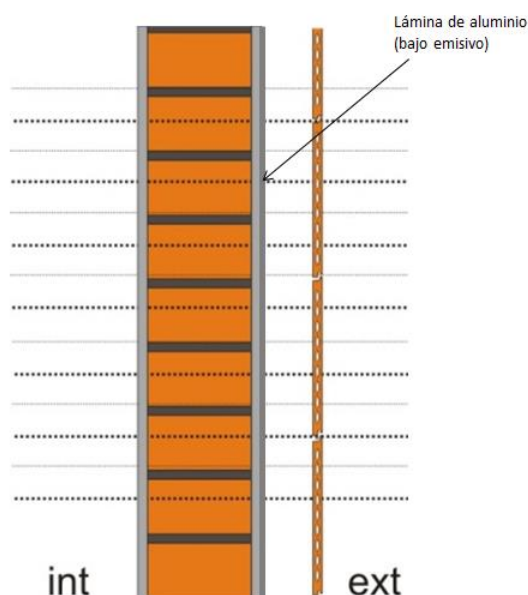
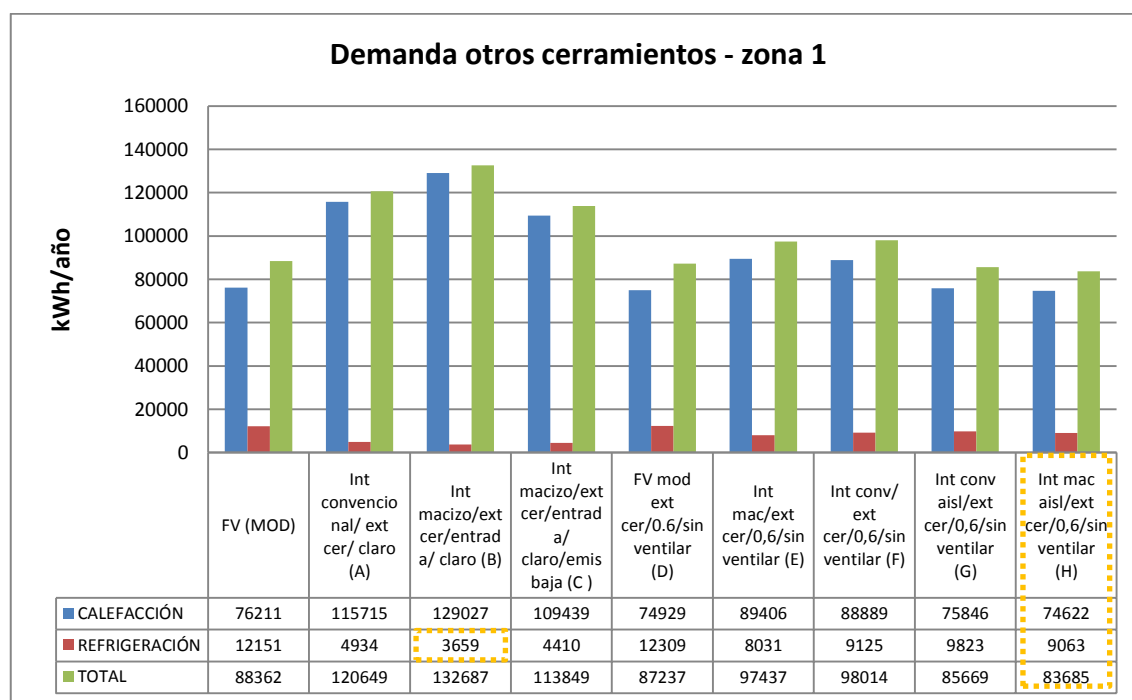


Fig. 154. Esquema del cerramiento con baja emisividad en la cámara de aire

- Fachada modelo, sin ventilar con hoja exterior cerámica oscura. Esta es la unión de lo que ha funcionado bien en simulaciones anteriores.(D)
- Ladrillo macizo, hoja exterior cerámica oscura, sin ventilar.(E)

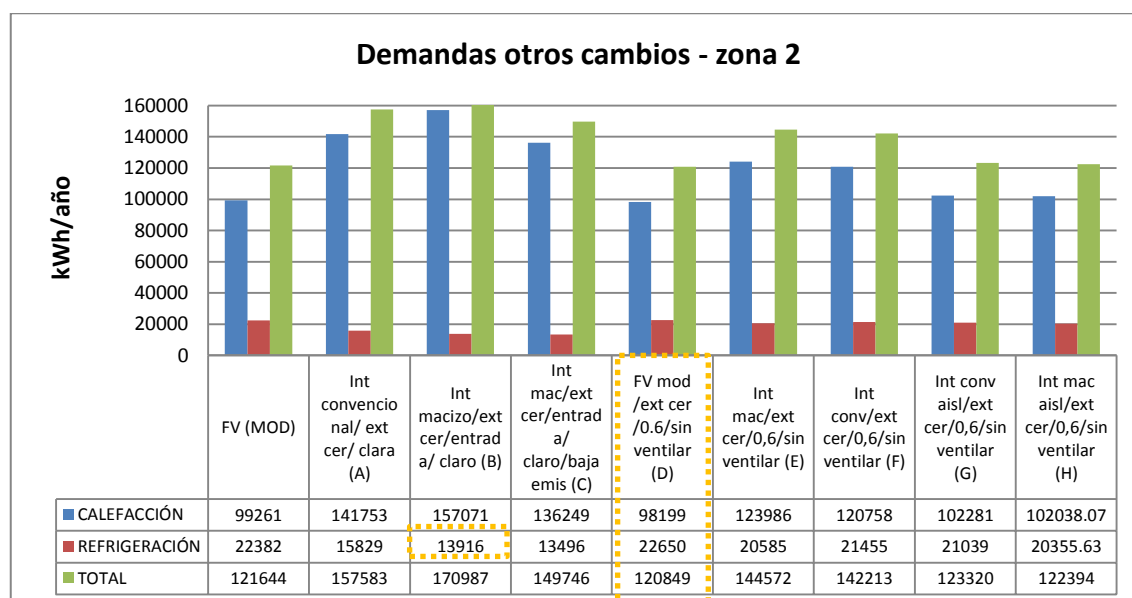
- Cerramiento interno convencional, hoja exterior cerámica oscura, sin ventilar.(F)
- Cerramiento interno convencional con aislamiento exterior de 5cm, hoja exterior cerámica oscura, sin ventilar.(G)
- Cerramiento interno ladrillo macizo con aislamiento térmico exterior de 5cm, hoja exterior cerámica oscura, sin ventilar (H)



Gráfica 48. Comparación entre las demandas anuales de energía zona 1(kWh/año)

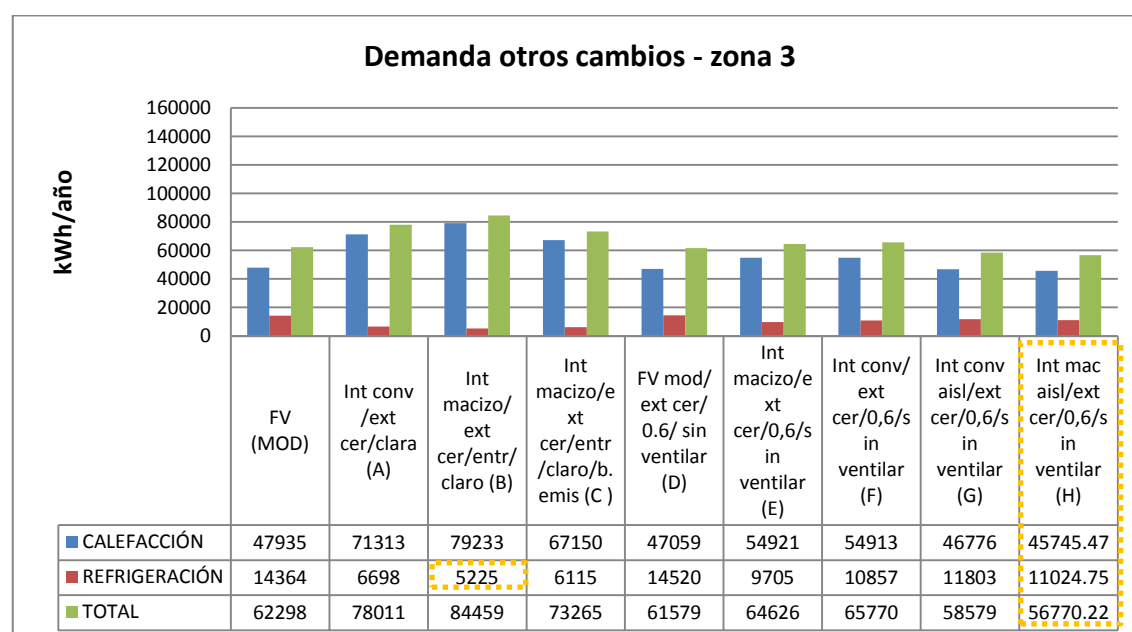
Los mejores resultados, en la zona 1 y 3, se ha encontrado con **la hoja interior maciza con aislamiento exterior de 5 centímetros¹⁶, sin ventilar la cámara y con hoja exterior cerámica de absortividad 0,6**. Las otras simulaciones con baja emisividad, colores claros o sin aislamiento no presentaron buenos resultados. Sin embargo considerando solamente la refrigeración el mejor resultado es el que tiene la **hoja interior en ladrillo macizo sin aislamiento, hoja exterior cerámica clara ($\alpha=0,2$) y entradas y salidas de aire grandes**.

¹⁶ En su tesina de máster a partir de simulaciones en el software Designbuilder, Atem (2012) concluyó que un cerramiento con este tipo de aislamiento sería el ideal para la zona 3.



Gráfica 49. Comparación entre las demandas anuales de energía zona 2(kWh/año)

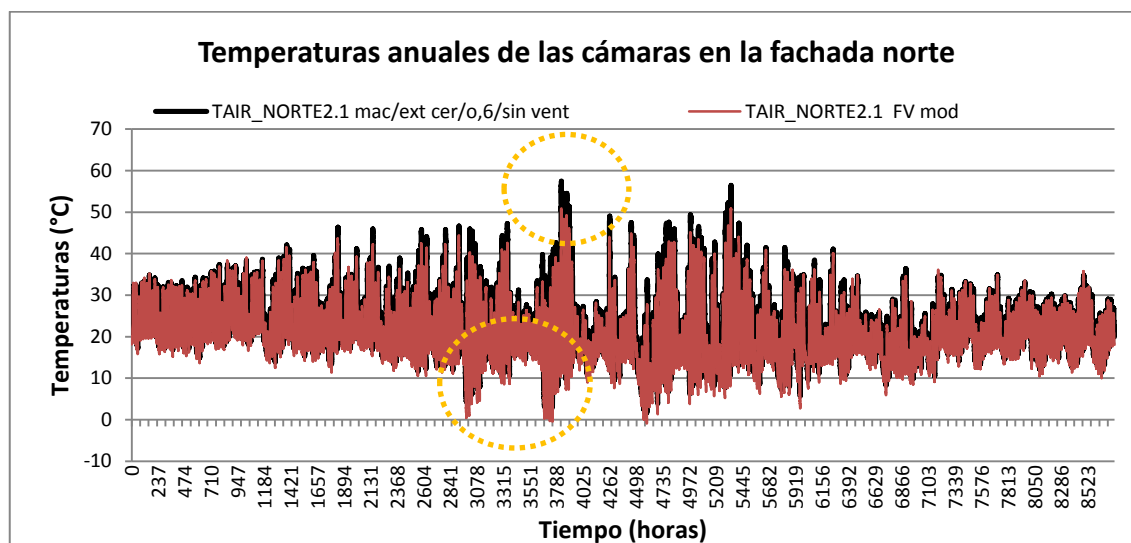
En la zona 2 el cerramiento con menor demanda total ha sido la fachada modelo, sin ventilar, hoja exterior cerámica con absorptividad 0,6. Este resultado se da pues este cerramiento es el más aislado y esta zona es la que presenta las menores temperaturas en invierno. Considerando solamente la refrigeración, igual que en las zonas 2 y 3, el cerramiento de hoja interior en ladrillo macizo sin aislamiento, hoja exterior cerámica clara ($\alpha=0,2$) y entradas y salidas de aire grandes es el que presenta menor demanda.



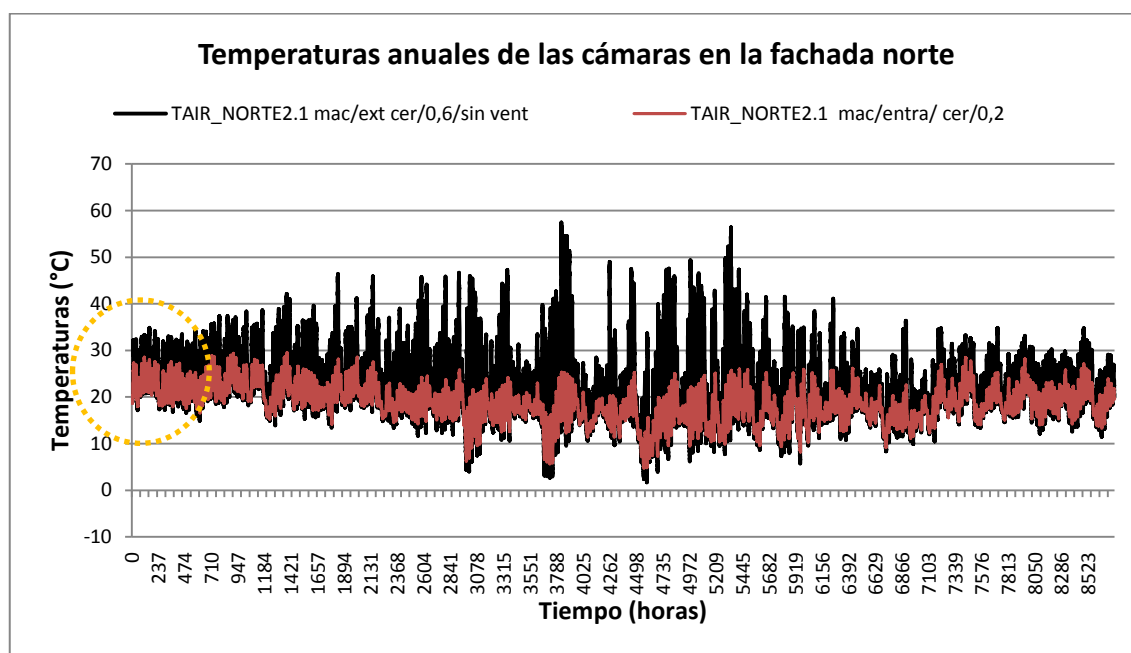
Gráfica 50. Comparación entre las demandas anuales de energía zona 3(kWh/año)

Observando el perfil de temperaturas de la fachada modelo y de la fachada con mejor comportamiento (zona 1) , se concluye que en esta última las temperaturas son

mayores en invierno, tanto de día cuanto por la noche y por eso su demanda energética es menor.



Gráfica 51. Temperaturas anuales de las cámaras en la fachada norte- zona 1



Gráfica 52. Temperaturas anuales de las cámaras en la fachada norte – zona 1

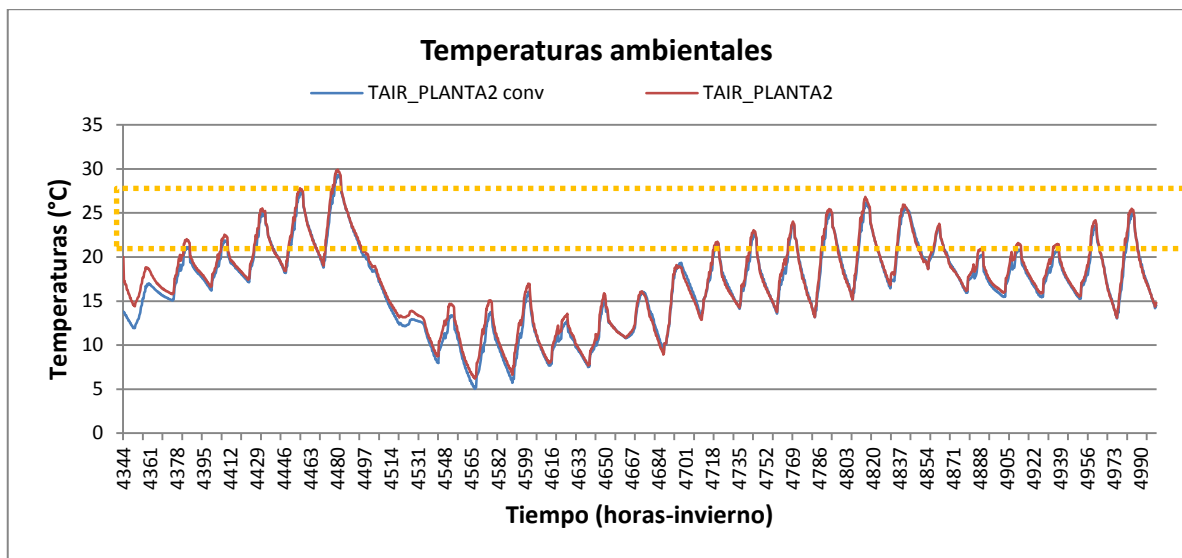
La comparación entre el mejor cerramiento general (calefacción + refrigeración – int macizo aislado /sin ventilar/ext. cer./ 0,6) y el mejor cerramiento respecto la refrigeración (int.macizo/entrada/ext. cer./0,2) se puede observar que en este último las temperaturas en verano son menores y en el primero las temperaturas en invierno son bastante mayores.

La presencia de aislamiento en la cámara hace que las temperaturas en la cámara sean mayores tanto en invierno cuanto en verano. Para climas como Curitiba y

también en las zonas 2 y 3, esto es beneficioso porque hay presencia de frío, pero en otras zonas se observa que las demandas de refrigeración aumentan. Esto será analizado más adelante.

6.1.8 Análisis sin acondicionamiento artificial

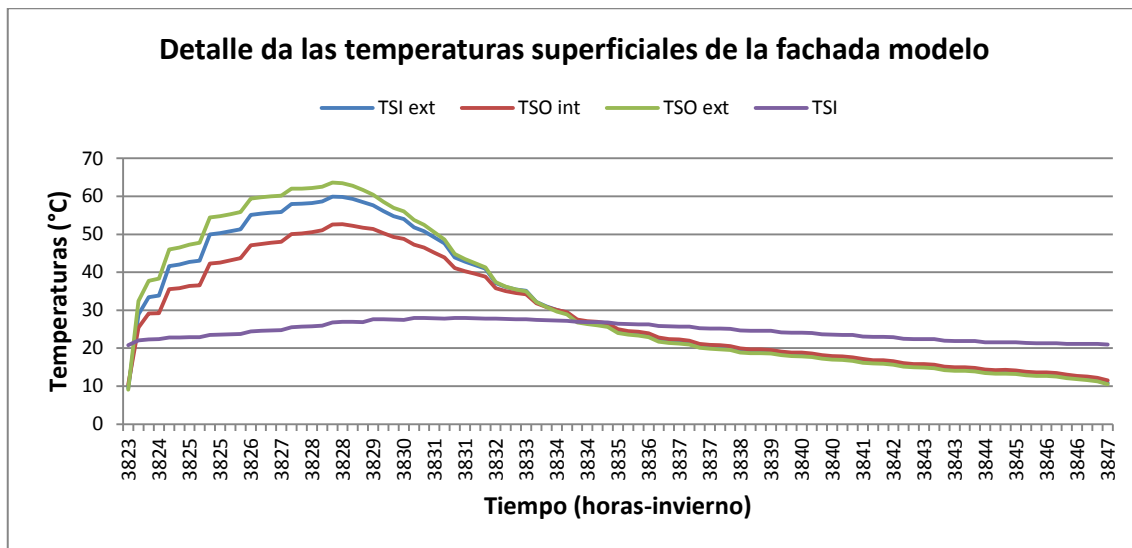
Analizando las condiciones sin acondicionamiento térmico artificial se puede observar que las temperaturas interiores son mayores con la fachada ventilada modelo, una vez más confirmando su eficiencia en este clima brasileño.



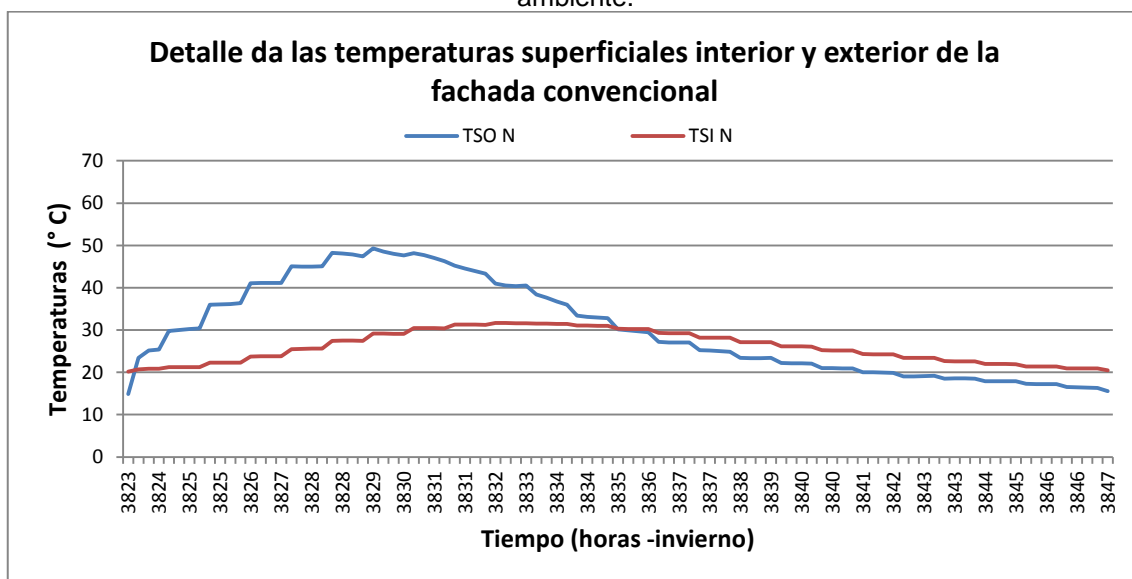
Gráfica 53. Temperaturas ambientales de la planta 2, Convencional (azul) y fachada modelo (rojo) zona

1

El análisis de las temperaturas del aire en la Planta 2 muestra que las temperaturas del edificio con fachada ventilada están siempre por encima de las temperaturas de la fachada convencional.

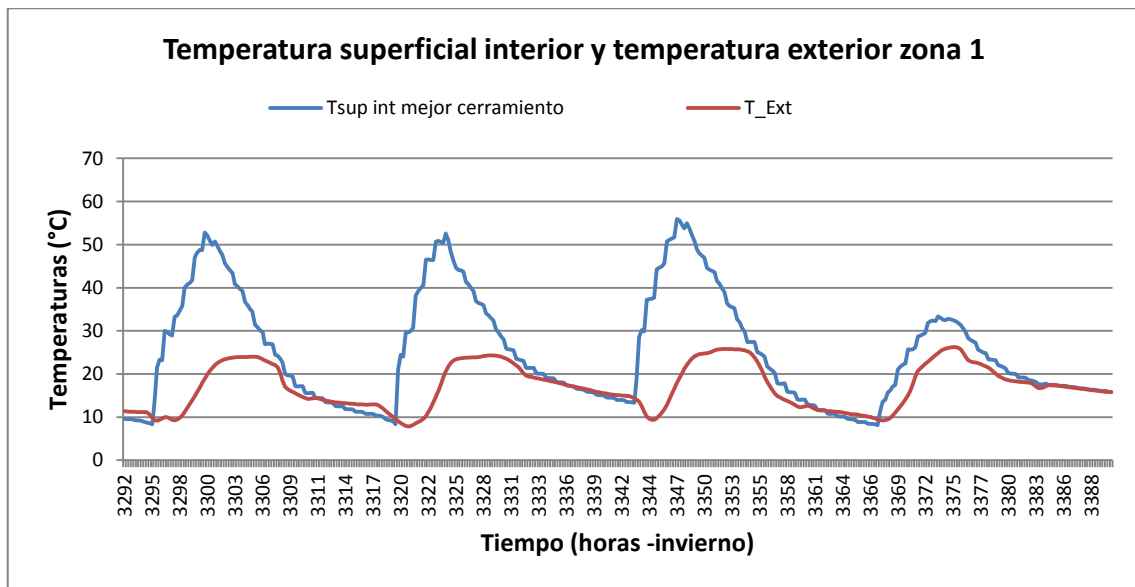


Gráfica 54. Detalle da las temperaturas superficiales de la fachada modelo (TSO ext = temperatura superficial externa/ TSI ext= temperatura superficial interior de la hoja externa/ TSO int= temperatura superficial de la hoja interior en la cámara/ TSI= temperatura superficial de la hoja interior dentro del ambiente.



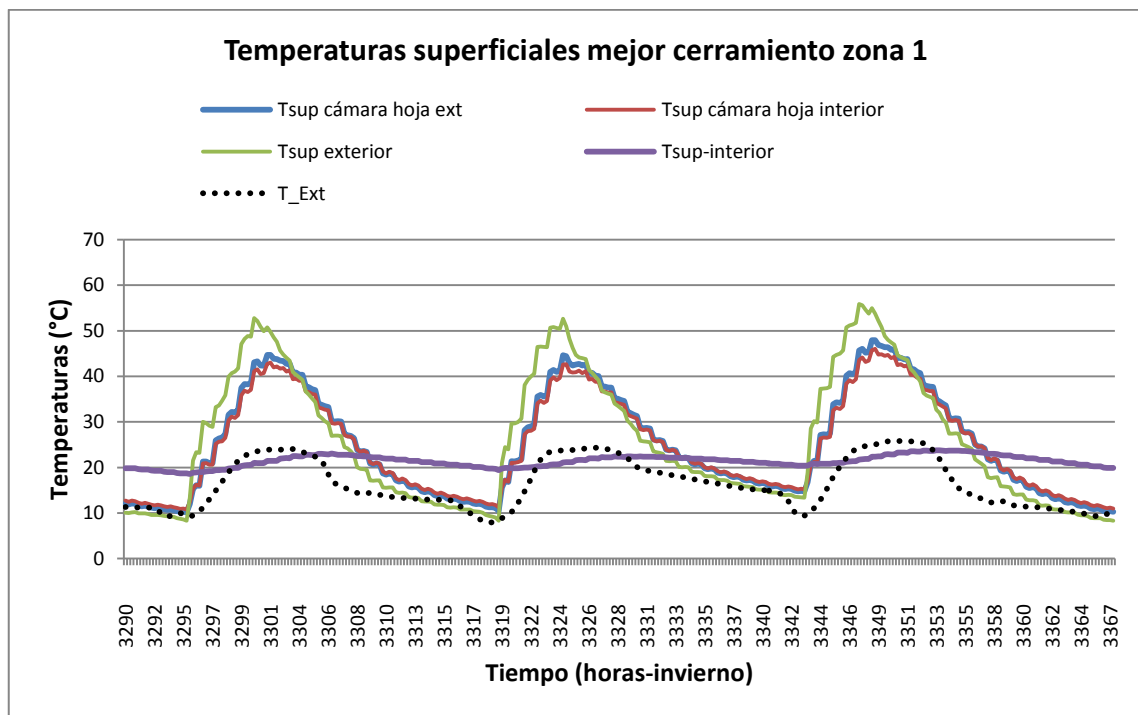
Gráfica 55. Detalle da las temperaturas superficiales interior y exterior de la fachada convencional. (TSO N= temperatura superficial exterior/ TSI N = temperatura superficial interior. Un día de invierno.

Las temperaturas superficiales son menores en la fachada convencional, por eso la demanda con este cerramiento es mayor.



Gráfica 56. Temperatura superficial interior y temperatura exterior zona 1

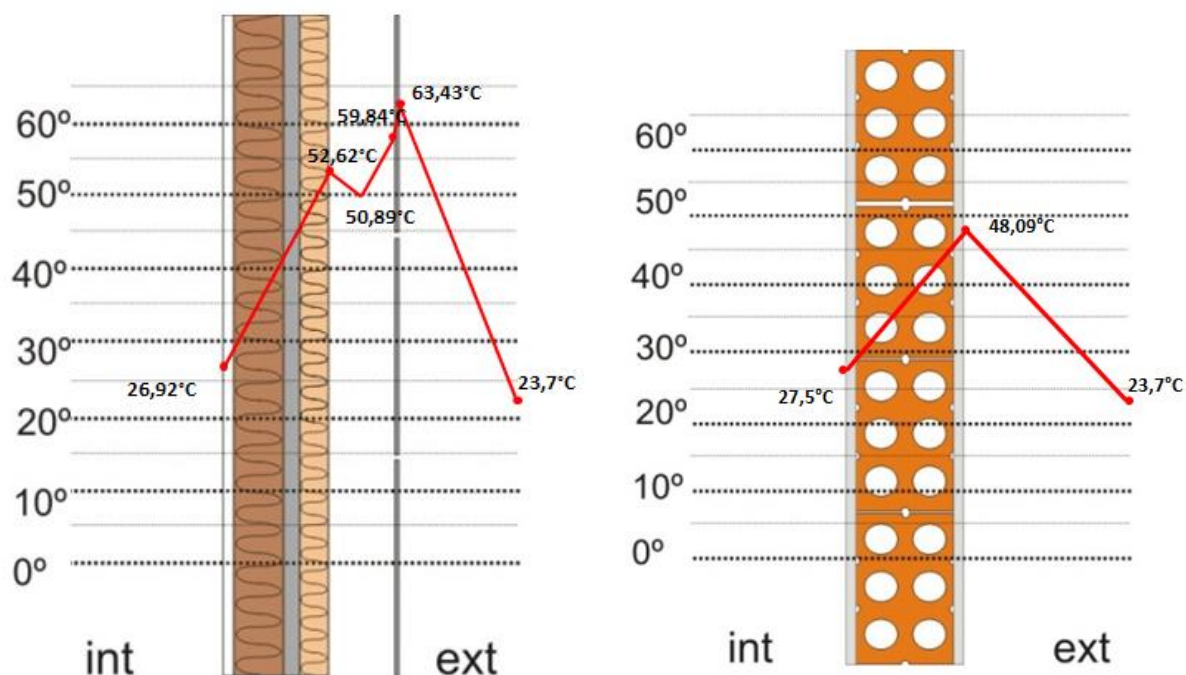
En la comparación entre temperatura superficial interior y la temperatura exterior zona 1 en invierno. Se puede percibir que luego que el sol empieza a incidir sobre la fachada la temperatura superficial interior sube.



Gráfica 57. Temperaturas superficiales mejor cerramiento zona 1 invierno.

6.1.9 Otros análisis

Es posible analizar también lo que pasa en un mismo momento en las fachadas convencional y modelo. La energía acumulada por esta última es mayor y la temperatura en la cámara es alta.



Figuras 155 y 156. Fluctuaciones de las temperaturas de la fachada modelo y de la fachada convencional en la misma hora de invierno, fachada norte.

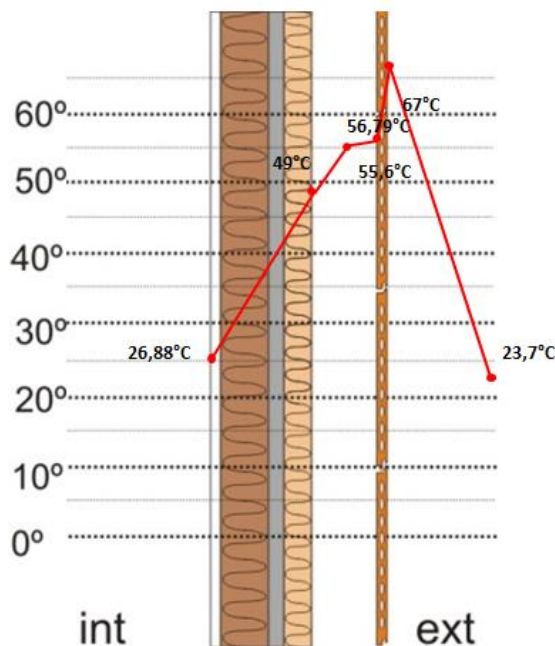


Fig. 157 Fluctuaciones de las temperaturas de la fachada con hoja interior igual que le modelo y la hoja exterior en cerámica, sin ventilar, en la hora de invierno, fachada norte.

Ya en la fachada con hoja exterior cerámica la temperatura de la cámara es mayor que la fachada modelo. Pero la hoja interior presenta menor temperatura superficial. Hay acumulo de energía en la hoja exterior, a diferencia del modelo.

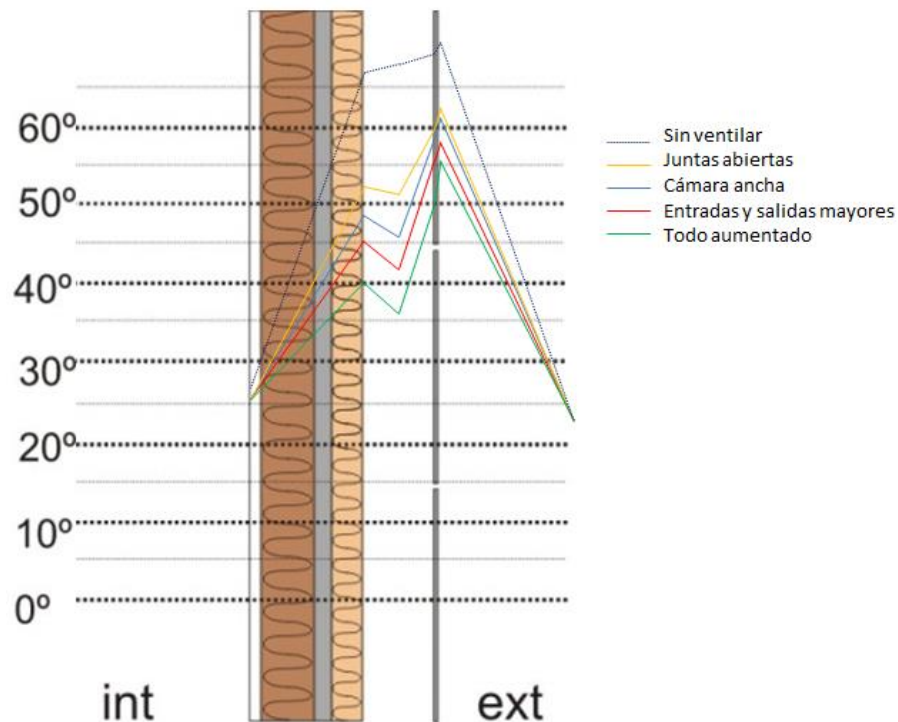


Fig. 158 Comparación entre distintos tipos de ventilación en la cámara en invierno. La cantidad de aire que pasa por la cámara afecta todas las temperaturas.

En la comparación de las temperaturas con distintas ventilaciones se puede confirmar la diferencia de las temperaturas en la cámara, cuanto más aire entra en la cámara, menor la temperatura.

6.1.10 Algunas conclusiones parciales

A partir de todos los datos analizados de las zonas 1, 2 y 3, se puede concluir:

- El aislamiento térmico es importante para mantener la temperatura interna en confort y obtener demandas menores de calefacción.
- Cuando no hay calefacción, la temperatura interior es afectada por las altas temperaturas de la cámara de aire.
- El color oscuro aumenta la temperatura de la cámara de aire lo que es beneficioso para el ambiente interior en invierno.

- Hay que subrayar, sin embargo, que el color tiene muy poca influencia en el comportamiento general de la fachada ventilada si el aislamiento térmico es grande. El ahorro va de 0,5 a 1,3 %.
- La hoja exterior de color clara presenta temperaturas en la cámara semejantes a las fachadas que no reciben incidencia del sol. Así el color es indiferente si no hay incidencia solar.
- La hoja exterior con más masa disminuye la demanda de refrigeración.
- La incidencia de sol genera el efecto chimenea en la fachada ventilada.
- En las zona 1, 2 y 3 la cantidad de aire que pasa por la cámara afecta poco las demandas energéticas. El mejor comportamiento ocurre con la fachada que no tiene ventilación.
- El mejor comportamiento térmico se observó en la fachada sin ventilación, con hoja interna convencional y aislada exteriormente por 5cm de lana mineral y hoja exterior cerámica oscura.

6.2 Zonas Climáticas 4, 5 y 6

Estas tres zonas están situadas en sureste y centro-oeste del país. Abajo si presentan sus ubicaciones, temperaturas anuales y radiación solar en las diferentes fachadas.

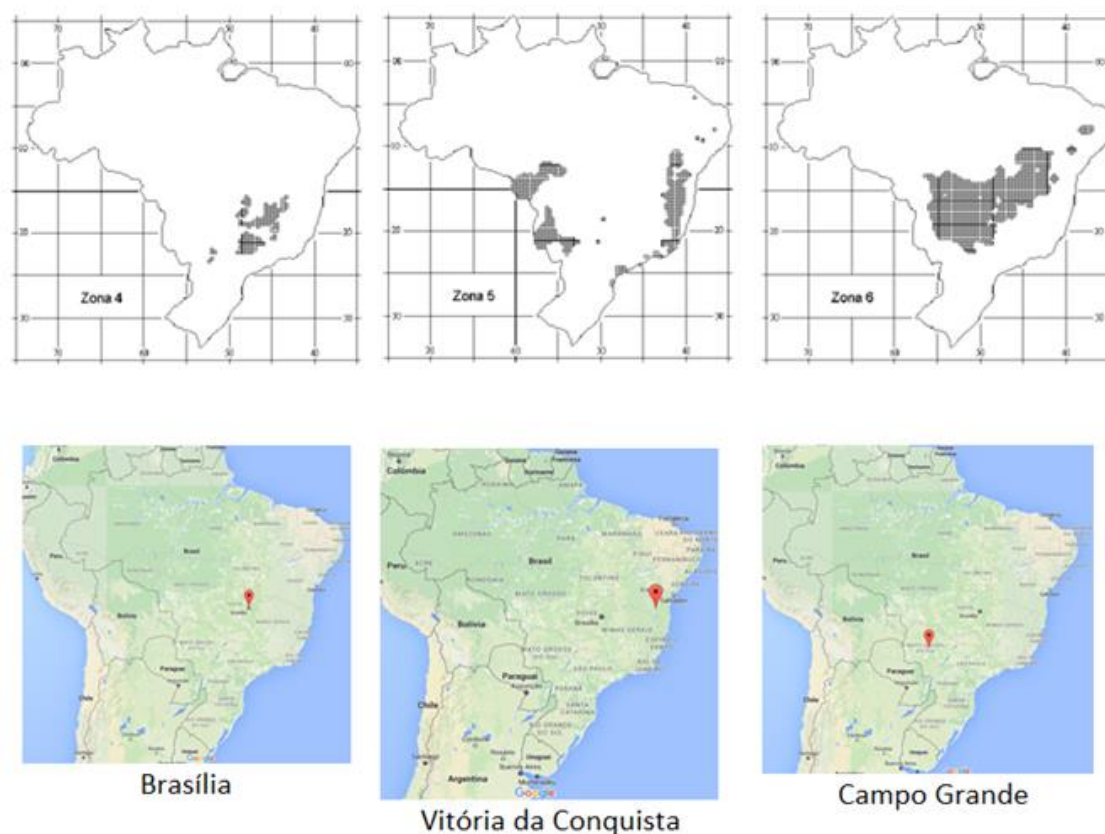
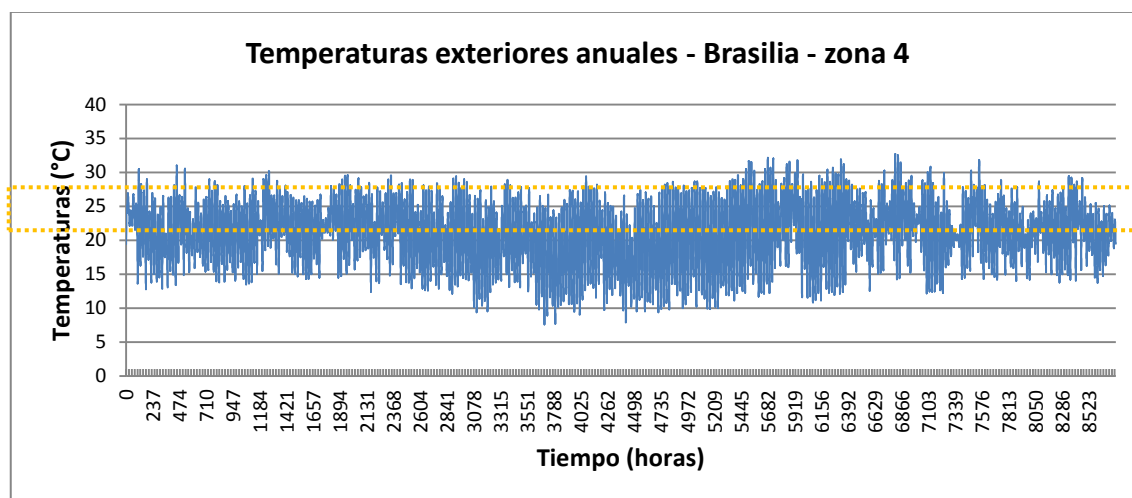
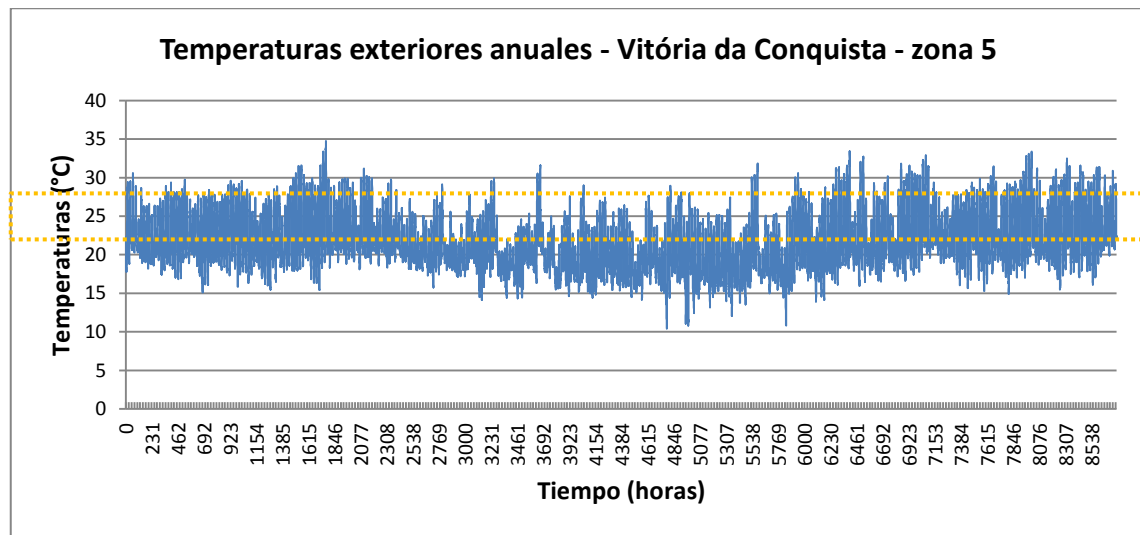


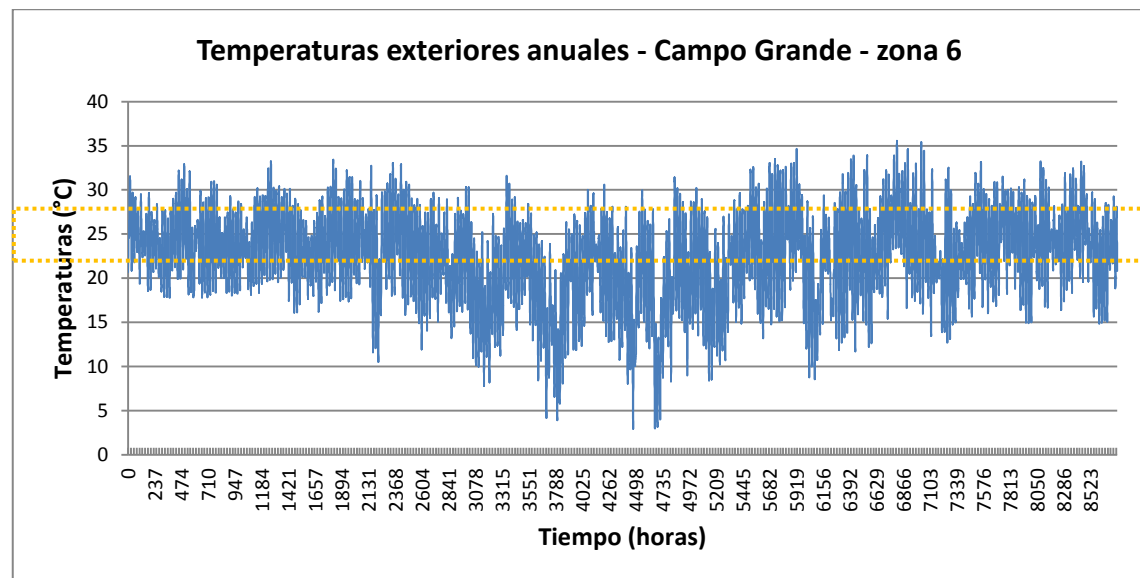
Fig 159. Ubicación de las dos zonas y sus ciudades representativas.
Fuente: NBR 15220 y Googlemaps (2015)



Gráfica 58. Temperaturas anuales de la ciudad de Brasília, centro del país, zona climática 4 (°C). La línea amarilla significa la zona de confort considerada para Brasil (21 a 27°C). La amplitud térmica elevada es una característica de este clima. Fuente: Archivos climáticos de METEONORM®



Gráfica 59. Temperaturas anuales de la ciudad de Vitória da Conquista, noreste de Brasil, zona climática 5 (°C). La línea amarilla significa la zona de confort considerada para Brasil (21 a 27°C). En esta zona ya no hay estación fría. Fuente: Archivos climáticos de METEONORM®

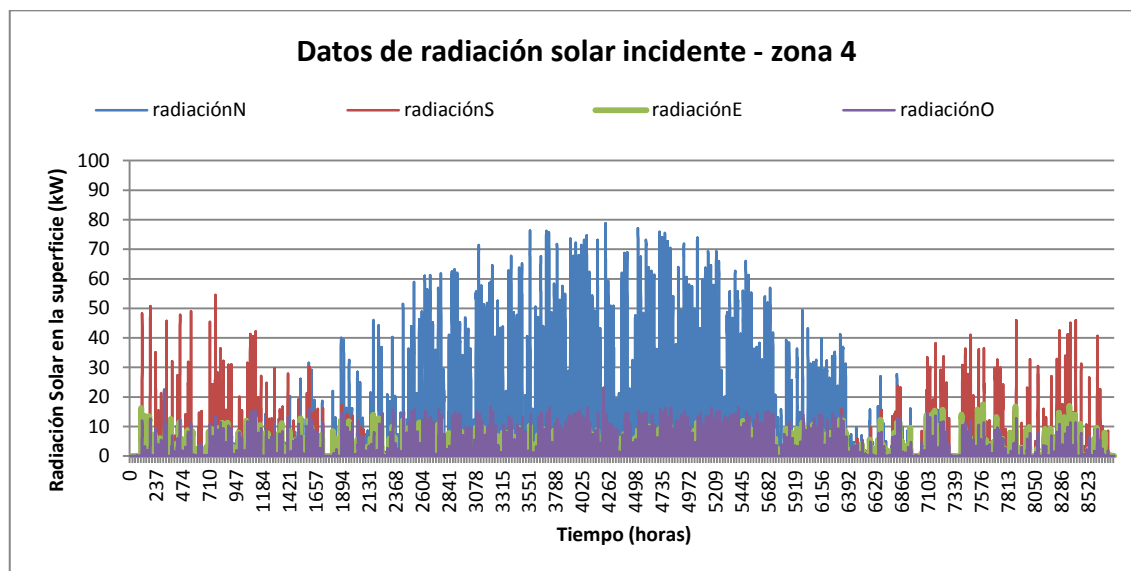


Gráfica 60. Temperaturas anuales de la ciudad de Campo Grande, centro-oeste de Brasil, zona climática 6 (°C). La línea amarilla significa la zona de confort considerada para Brasil (21 a 27°C). Como en la zona 4, también se observa una amplitud térmica grande. Fuente: Archivos climáticos de METEONORM®.

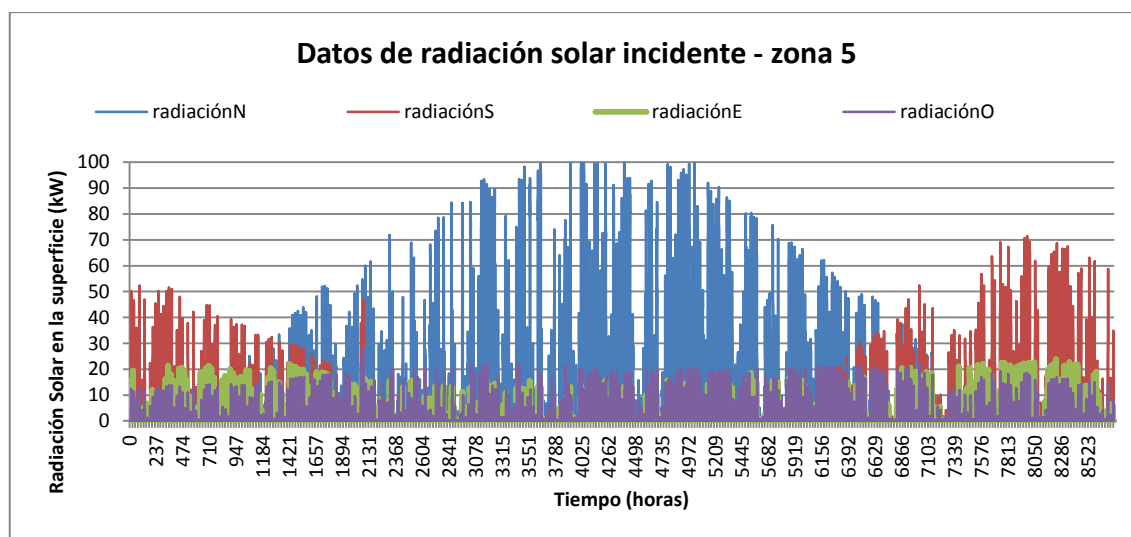
A diferencia de las tres primeras zonas, en las zonas aquí analizadas predominan las altas temperaturas, incluso en invierno. Es posible percibir que en el periodo más frío (junio, julio y agosto) las temperaturas nocturnas son más bajas, y pueden llegar a los 8°C, sin embargo durante el día esta temperatura puede subir a los 26°C. No es infrecuente que se llegue a los 30 °C en esta época. La zona 4 es la que presenta mayor amplitud térmica, en verano, por la noche, las temperaturas pueden ser bajas. Esto se debe a que este clima es bastante seco.

6.2.1 Radiación solar en las diferentes fachadas del edificio

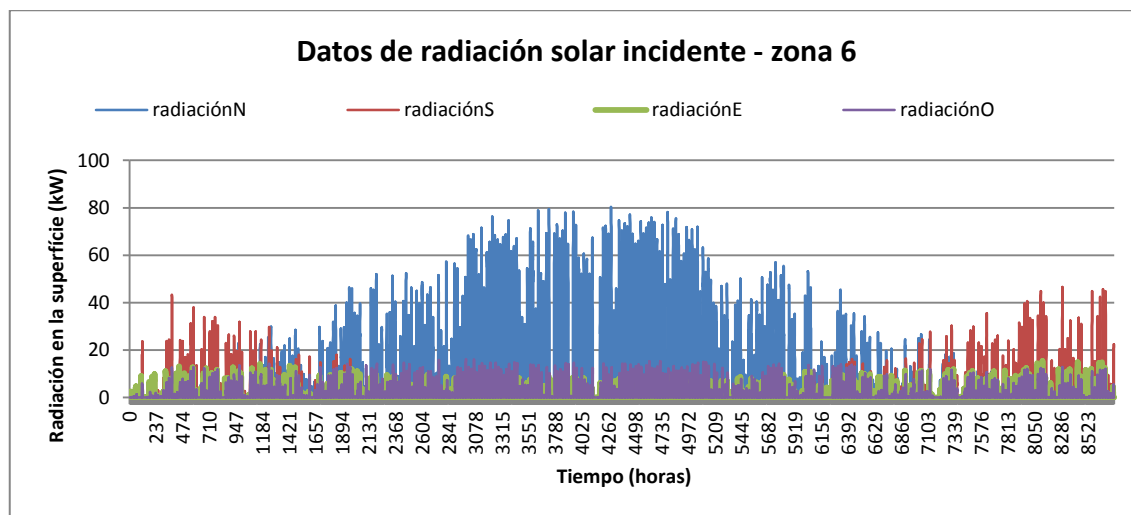
En este apartado están demostrados los datos anuales de radiación solar incidente en cada una de las fachadas del edificio. Los datos se han sacado de las simulaciones en Trnsys®.



Gráfica 61. Datos de radiación solar incidente sobre los distintos planos zona 4(kW). En verano la fachada sur recibe mayor cantidad de radiación solar y en invierno la fachada norte es la más asoleada. Fuente: Simulación en TRNSYS®



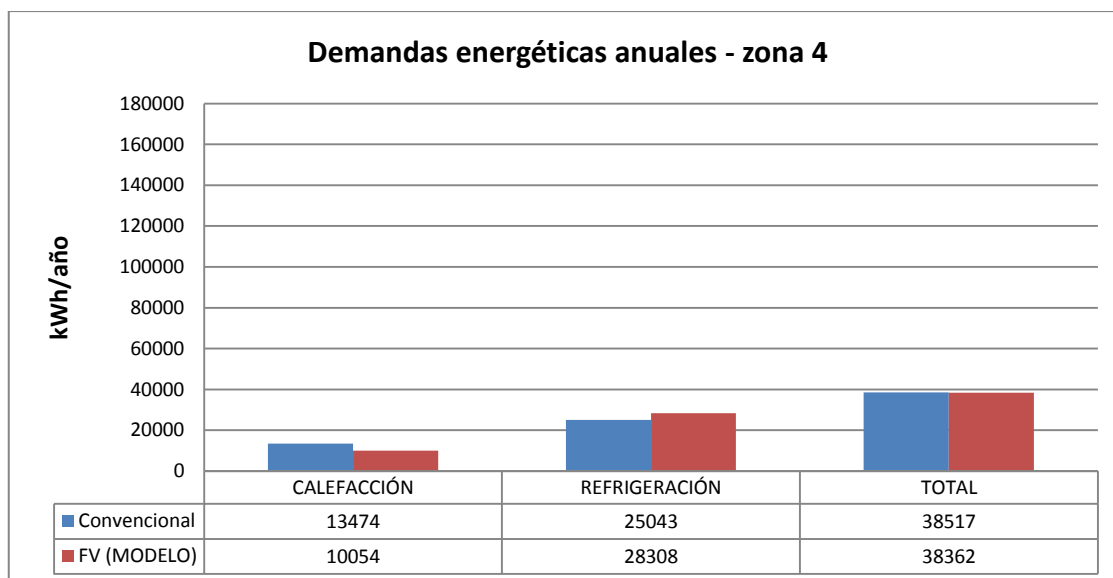
Gráfica 62. Datos de radiación solar incidente sobre los distintos planos zona 5 (kW). La cantidad de radiación en invierno es la mayor entre las tres zonas. Fuente: Simulación en TRNSYS®



Gráfica 63. Datos de radiación solar incidente sobre los distintos planos zona 6 (kW) Fuente: Simulación en TRNSYS

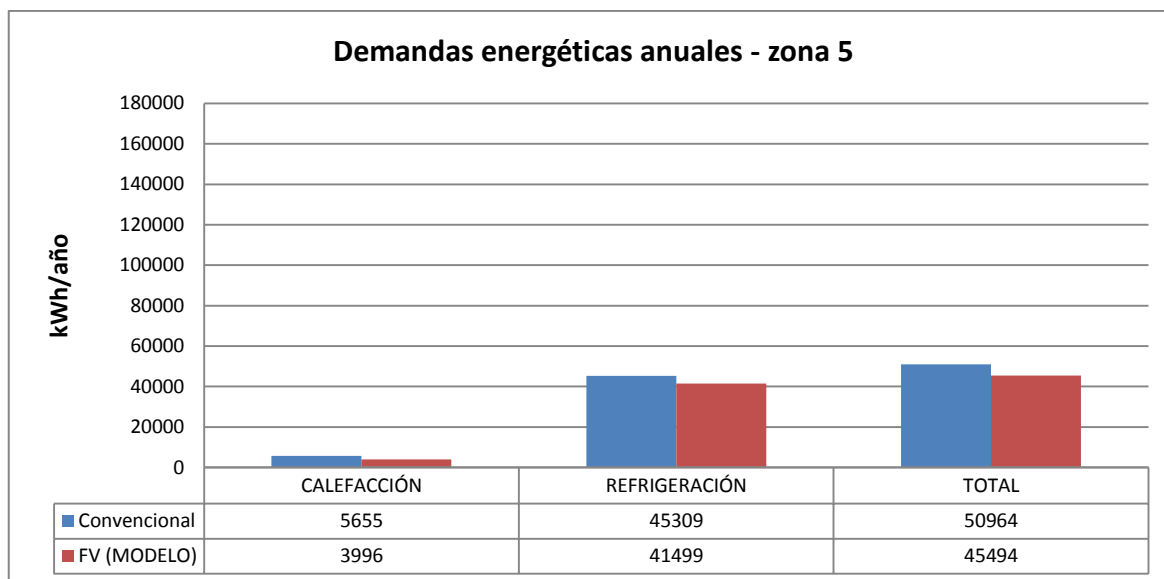
En estas zonas (4,5 y 6) ya se percibe que la fachada ventilada modelo no presenta el mismo comportamiento que en las zonas anteriores. Comparada al cerramiento convencional la fachada ventilada modelo presenta ahorros, pero la presencia de aislamiento térmico hace que se ahorre menos, como se explicará a continuación.

Es importante señalar que en estos 3 climas lo más importante es bajar la demanda de refrigeración ya que predomina el clima cálido.



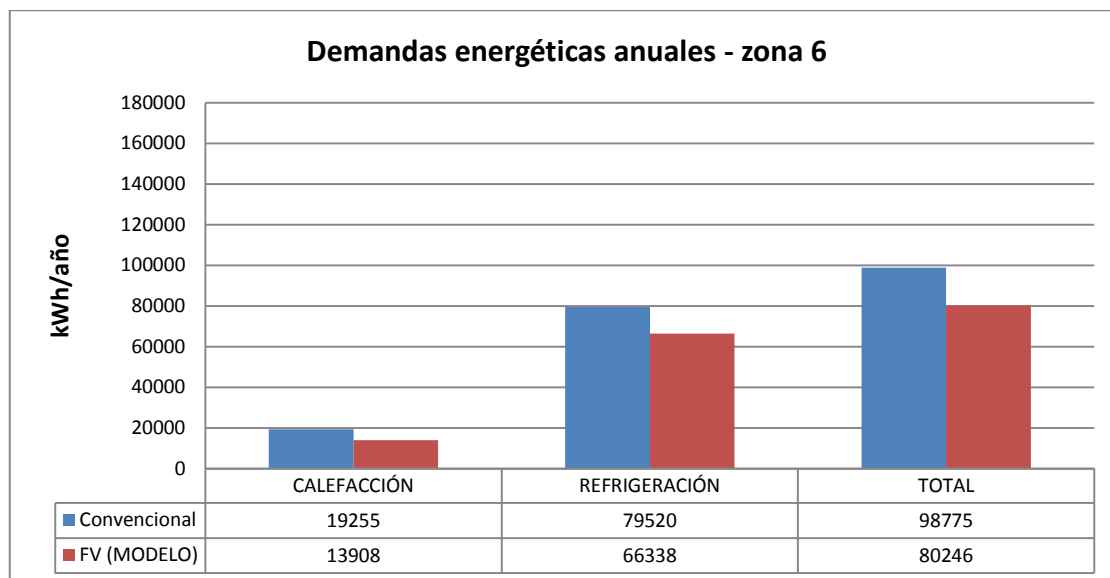
Gráfica 64. Comparación entre las demandas anuales del edificio modelo con fachada convencional y con la fachada ventilada modelo - zona 4 (kWh/año). La escala de la gráfica sigue las gráficas de las zonas 1, 2 y 3. Lo que se puede percibir es que para esta zona las demandas son mucho menores.

En la zona 4 la demanda de refrigeración del cerramiento convencional es 11,53% menor que la demanda con la fachada ventilada modelo. Considerando la demanda total, esta es 0,40 % menor que la fachada convencional.



Gráfica 65. Comparación de las demandas anuales de un edificio con fachada convencional y otro con la fachada ventilada modelo zona 5 (kWh/año).

En la zona 5 la demanda de refrigeración del cerramiento convencional es 8,4% mayor que la demanda con la fachada ventilada modelo. Considerando la demanda total, esta es 10,73 % menor con la utilización de la fachada modelo.



Gráfica 66. Comparación de las demandas anuales de un edificio con fachada convencional y otro con la fachada ventilada modelo zona 6 (kWh/año).

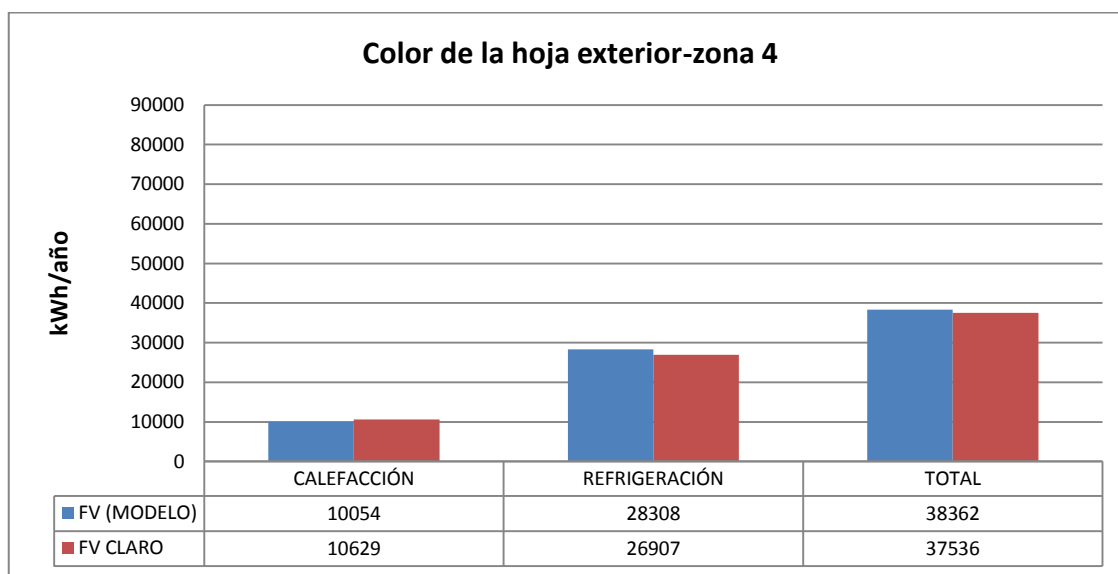
En la zona 6 la demanda de refrigeración del cerramiento convencional es 16,57% mayor que la demanda con la fachada ventilada modelo. Considerando la

demanda total, esta es 18,75 % menor con la utilización de la fachada ventilada modelo.

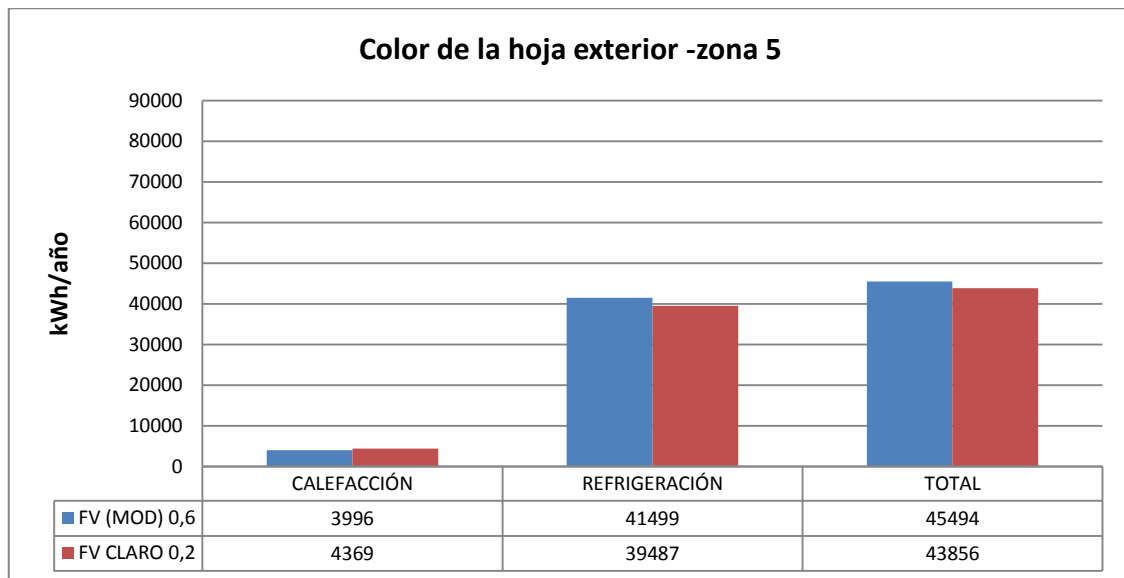
Por ende en las tres zonas la fachada ventilada modelo presenta un menor gasto energético. A continuación se analizarán las fachadas por partes intentando buscar mejores resultados para la fachada ventilada en estos climas.

6.2.2 Color de la hoja exterior

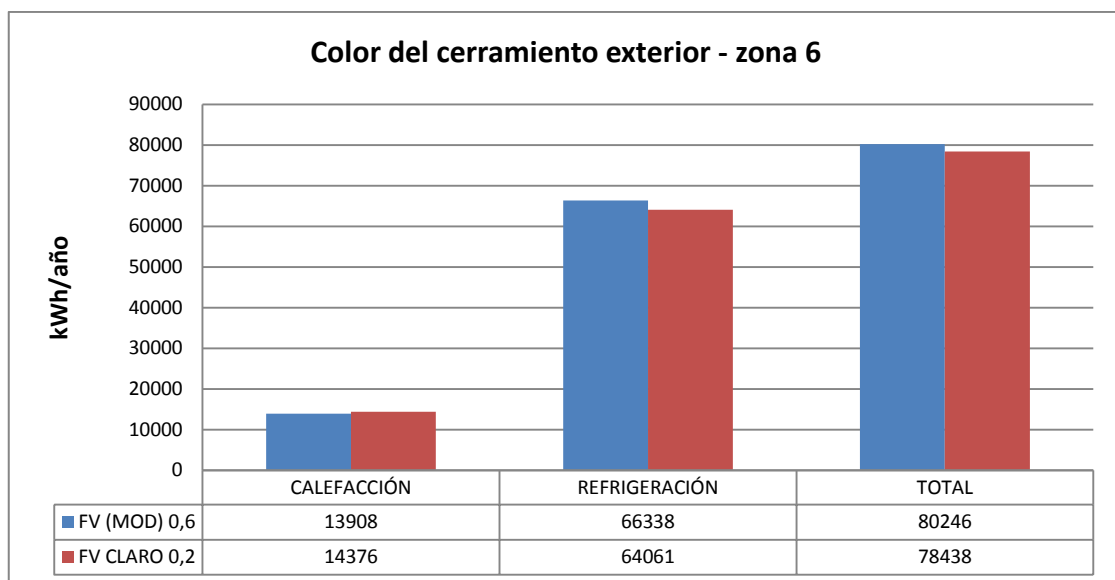
Al compararse el color del cerramiento, a diferencia de las zonas anteriores, en las zonas 4,5 y 6 la fachada de color claro presenta mejores resultados, la demanda es 2,15% menor en la zona 4, 3,6 % en la zona 5 y 2,25% menor en la zona 3. Así, para estas tres zonas cerramientos más claros, que absorben menos calor y calientan menos la cámara, son mejores, incluso los porcentajes de ahorro son mayores en las zonas 1, 2 y 3.



Gráfica 67. Comparación entre las demandas anuales de la fachada más oscura ($\alpha=0,6$) y la más clara ($\alpha=0,2$) en la zona 4 (kWh/año)

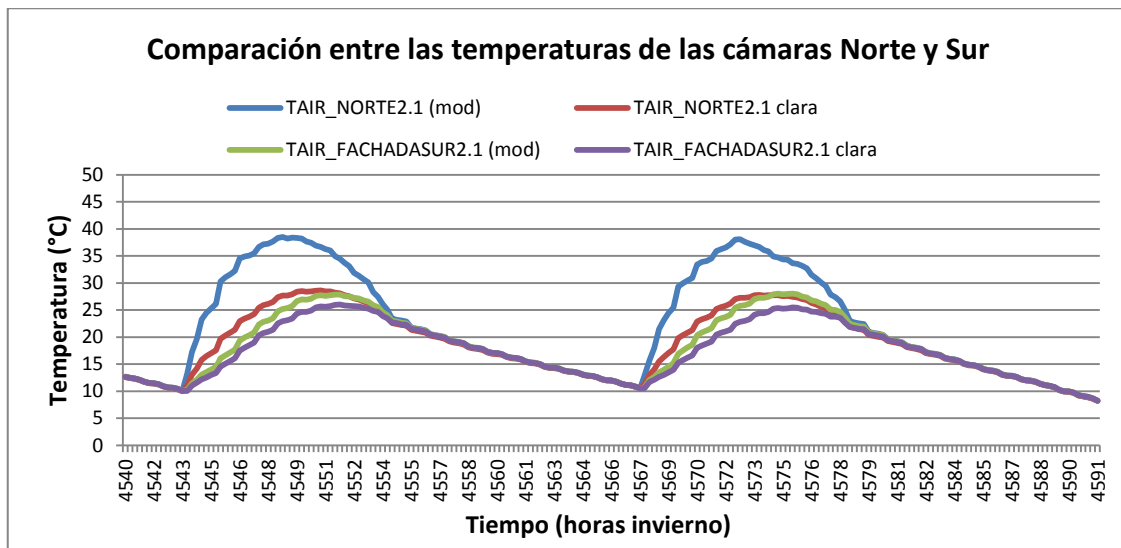


Gráfica 68. Comparación entre las demandas anuales de la fachada más oscura ($\alpha=0,6$) y la más clara($\alpha=0,2$) en la zona 5 (kWh/año)

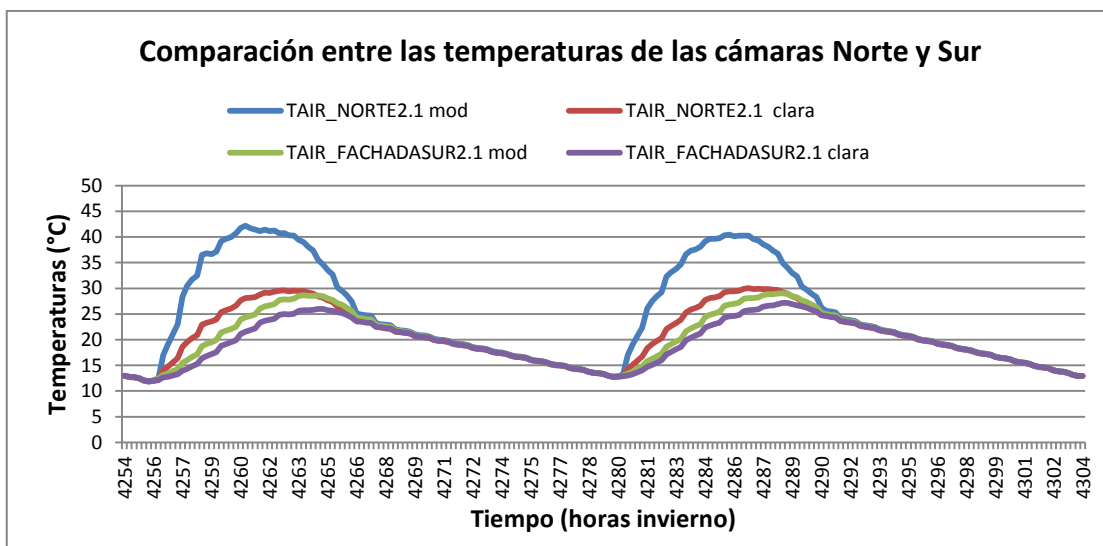


Gráfica 69. Comparación entre las demandas anuales de la fachada más oscura ($\alpha=0,6$) y la más clara($\alpha=0,2$) en la zona 6 (kWh/año)

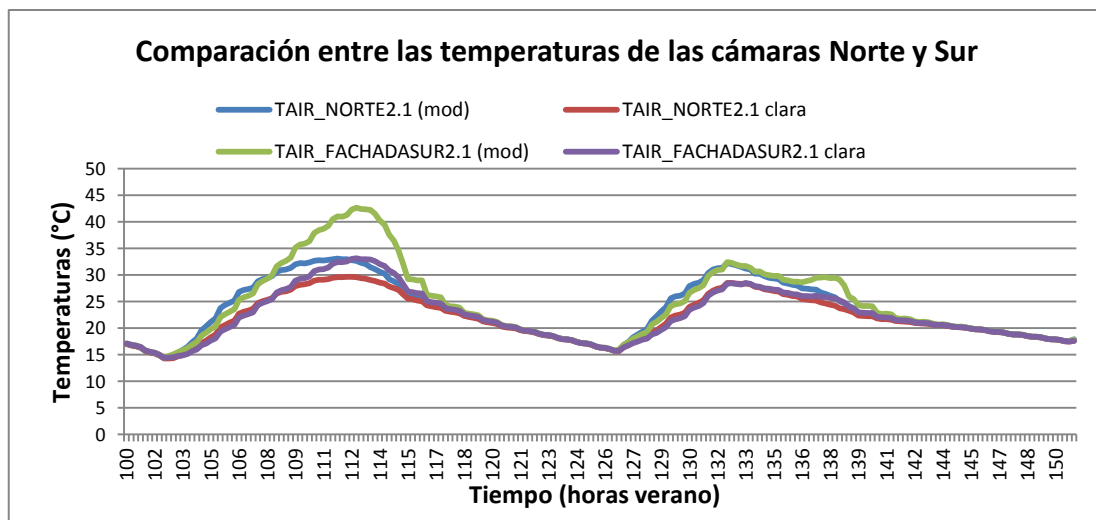
Al observar en detalle las temperaturas de la cámara en invierno en la fachada norte y sur de la zona 4 (planta 2), se percibe que hay una gran diferencia en las temperaturas cuando se cambia el color. La fachada norte clara presenta las temperaturas muy semejantes a la fachada sur, que no recibe incidencia de radiación solar directa. Esto se refleja en la disminución de la demanda.



Gráfica 70. Comparación entre las temperaturas de las cámaras Norte y Sur de color oscura (FV) y de color claro (clara), zona 4, en invierno



Gráfica 71. El perfil de las temperaturas en la zona 6 es muy semejante al de la zona 4.



Gráfica 72. Perfil de las temperaturas en la zona 4 en verano. La fachada sur recibe más radiación solar, y la temperatura en la cámara sube.

En verano las temperaturas son muy similares en ambas fachadas y siguen el perfil de la temperatura exterior. Esto es debido a la ausencia de la radiación solar.

El color es indiferente si no hay incidencia solar. En verano la incidencia solar es un poco mayor en la fachada sur pero no se observa diferencia sustancial en las temperaturas. En esta época la fachada se calienta menos.

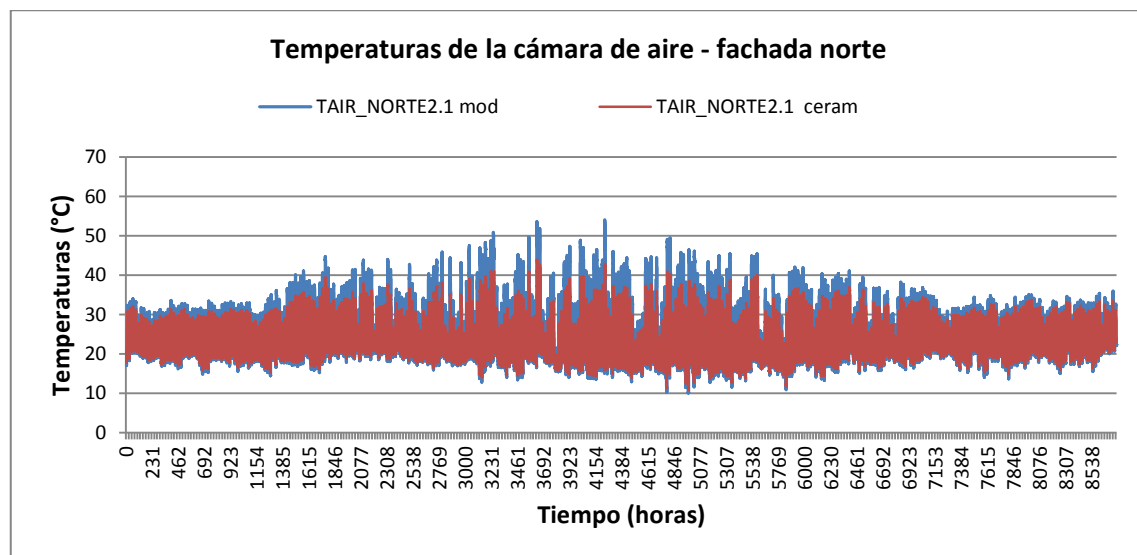
6.2.3 Hoja exterior

En las zonas estudiadas, lo que se busca es la reducción de la demanda de refrigeración, el material de la hoja exterior tiene una pequeña influencia en esta situación.

	CALEFACCIÓN(kWh/año)	REFRIGERACIÓN(kWh/año)	TOTAL(kWh/año)	
FV (MOD)	10054	28308	38362	Zona 4
FV ceram	10032	27773	37806	
FV (MOD)	3996	41499	45494	Zona 5
FV ceram	4020	40797	44817	
FV (MOD)	13908	66338	80246	Zona 6
FV ceram	13926	65508	79434	

Se observa que en la zona 4 hay una disminución de 1,88 % en la demanda de refrigeración, en la zona 5 , 1,69% de reducción y en la zona 6, se reduce un 1,25 %.

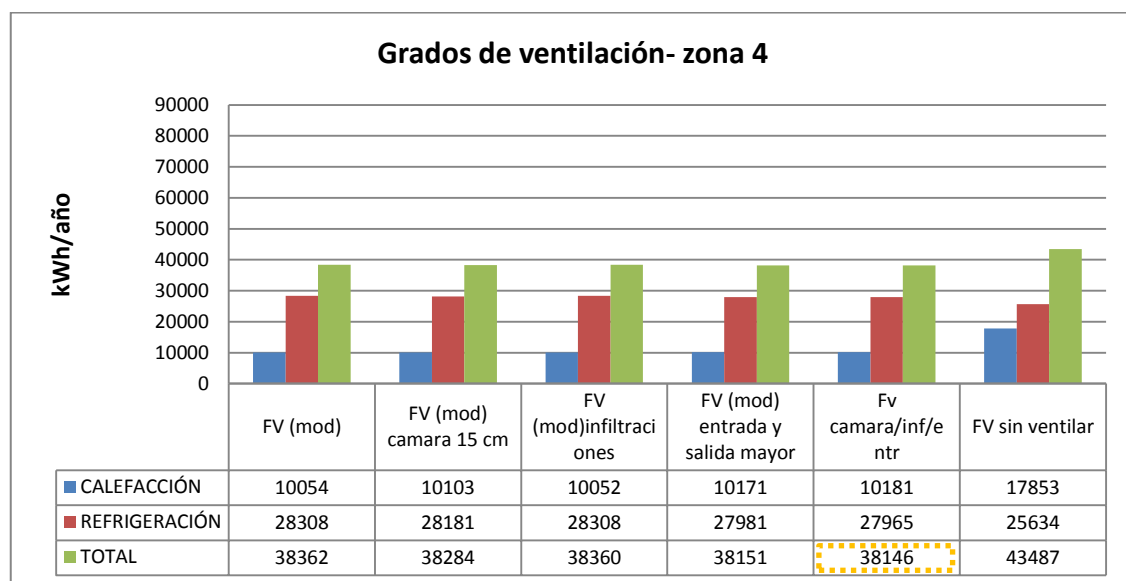
Como ejemplo se compara la temperatura de la cámara de aire en la fachada modelo y la que presenta hoja exterior cerámica, se observa que la temperatura de la cámara en esta última es menor que la fachada modelo, llegando a los 12,95°C de diferencia.



Gráfica 73. Temperaturas de la cámara de aire en la fachada modelo (mod) y con la hoja exterior cerámica (ceram). Fachada Norte – zona 5

6.2.4 Grados de ventilación

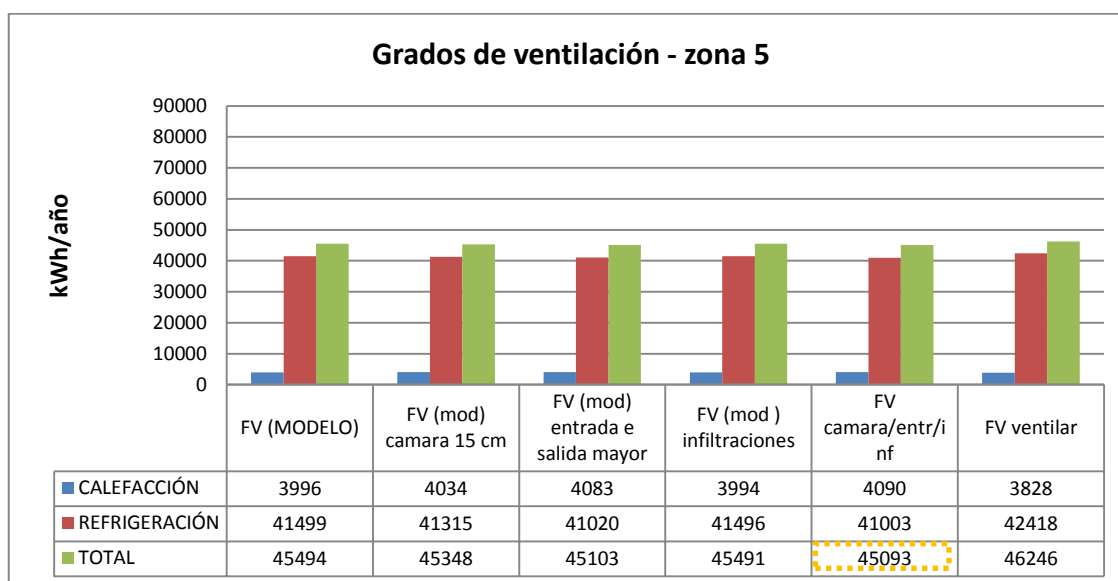
La misma comparación de grados de ventilación ha sido hecha en las zonas 4, 5 y 6. Se cree que cuanto más aire en la cámara, menor la temperatura y menor el gasto energético.



Gráfica 74. Comparaciones entre diferentes tipos de ventilación de la fachada ventilada modelo, zona 4

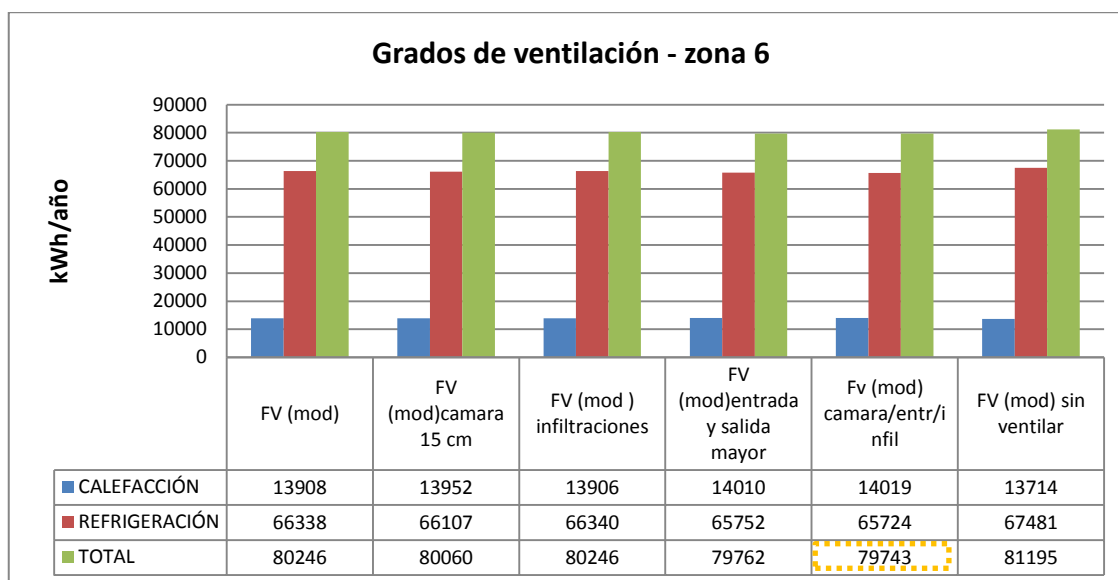
Observando los 6 tipos de ventilación, se puede concluir que en estos climas más cálidos, cuanto más aire en la cámara, mejor. De hecho no hay mucha diferencia entre entradas y salidas grandes y la ventilación total, eso es, con juntas, cámara más ancha y entradas y salidas mayores. Así, se podría utilizar solamente las entradas y

salidas mayores para disminuir la temperatura de la cámara. ¹⁶ El ahorro en la zona 4 es de un 0,56%.



Gráfica 75. Comparaciones entre diferentes tipos de ventilación de la fachada ventilada modelo, zona 5

En la zona 5 y 6 ocurre lo mismo que en la fachada 4. Sin embargo en la zona 6 las demandas son mayores que las otras. El ahorro en la zona 5 es de un 0,88% y en la zona 6 un 0,62%. Así la ventilación tiene poco efecto sobre las demandas.

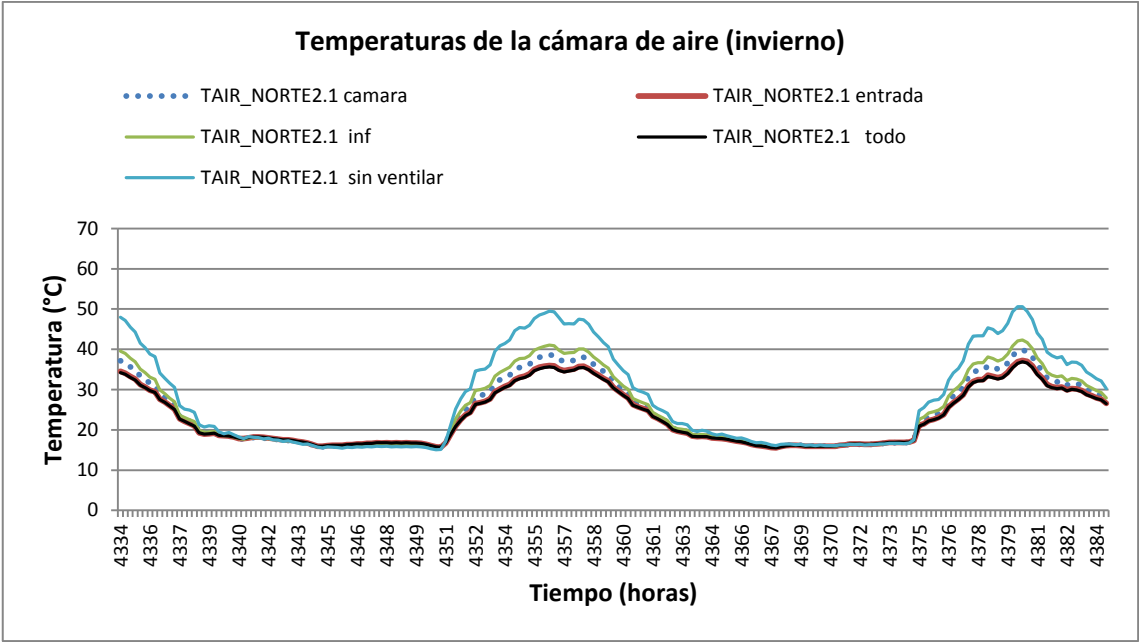


Gráfica 76. Comparaciones entre diferentes tipos de ventilación de la fachada ventilada modelo, zona 6.

En la gráfica inferior (gráfica 77) se puede percibir que las menores temperaturas están en las fachadas con mayores entradas y salidas y las que tienen

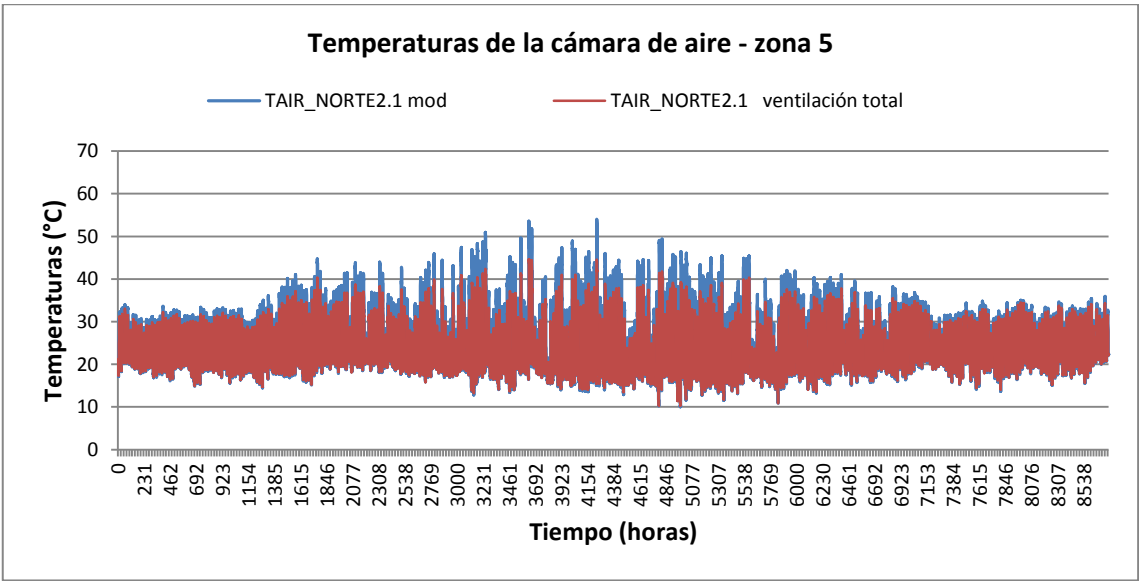
¹⁶En el estado de arte también llegó a la misma conclusión.

todo aumentado. Las mayores temperaturas están en la fachada sin ventilar, tan adecuada a las zonas anteriores, pero en estas tres zonas es inadecuada.

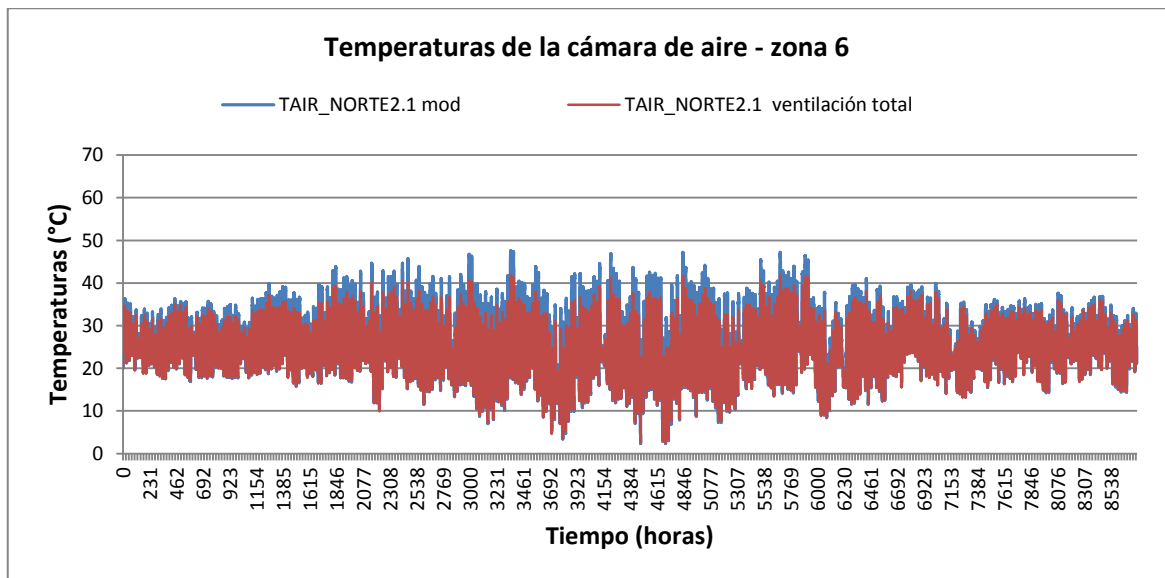


Gráfica 77. Temperaturas de la cámara de aire (invierno) (°C) de la fachada sin ventilar, la fachada modelo (FV), la fachada con entradas y salidas mayores (entrada), la fachada con juntas abiertas (INF), la fachada con cámara más ancha (cámara) zona 4.

En la gráfica inferior (gráfica 78) se presenta la comparación entre la fachada modelo y otra con ventilación total de las zonas 5 y 6 (mayor entrada y salida, infiltraciones y mayor cámara). Las temperaturas en esta última son menores tanto en verano cuanto en invierno.



Gráfica 78. Temperaturas de la cámara de aire (°C), fachada norte, en la Zona 5

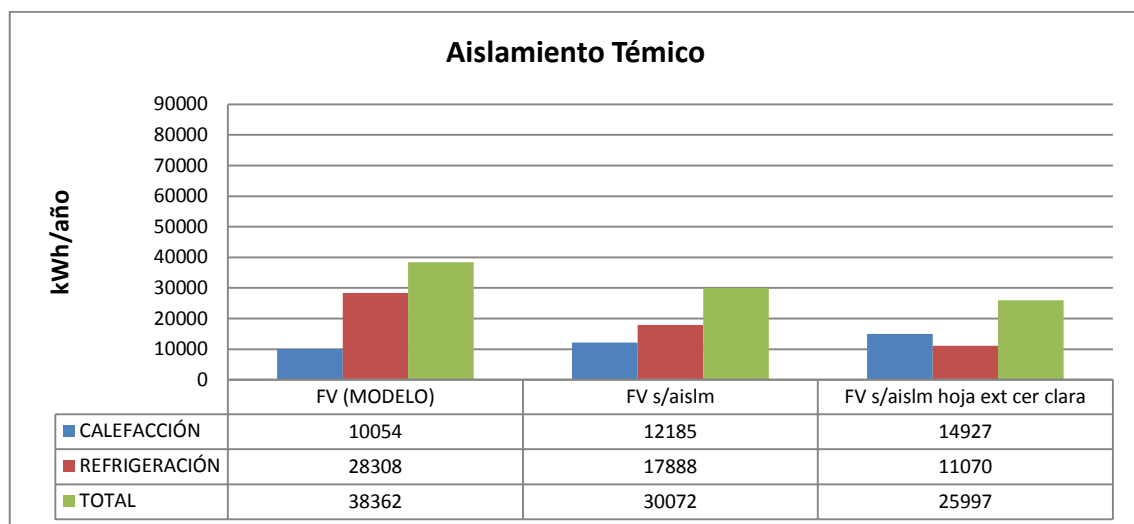


Gráfica 79. Temperaturas de la cámara de aire (°C), fachada norte, Zona 6

6.2.5 Aislamiento térmico

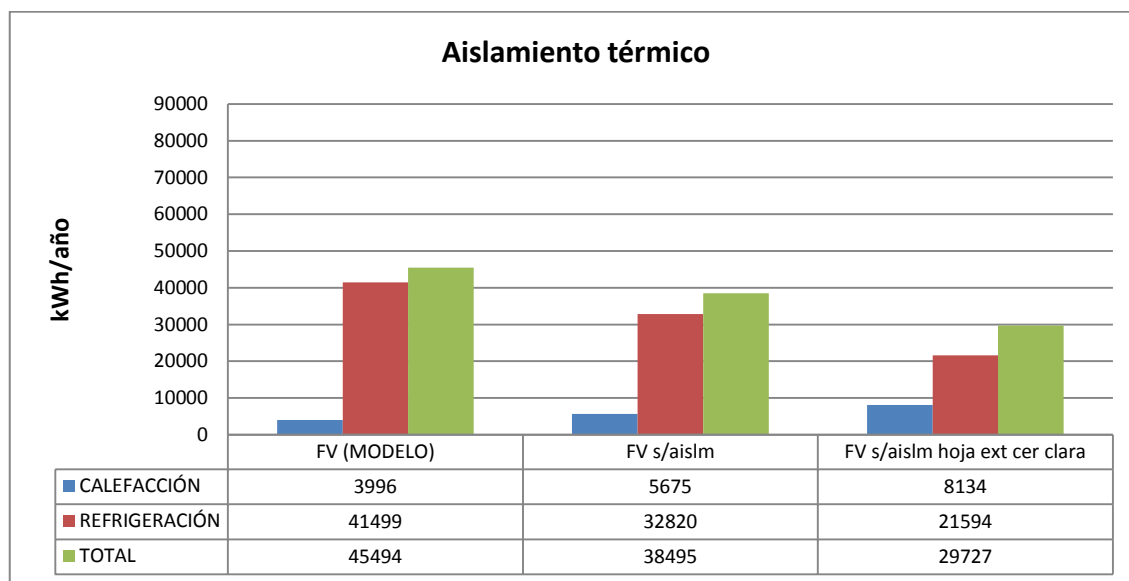
En estas zonas más cálidas han sido probadas fachadas ventiladas sin aislamiento térmico para verificar su comportamiento frente a la fachada modelo que se mostró poco efectiva en relación a la demanda de refrigeración.

En las tres zonas las menores demandas se dan con la fachada ventilada con hoja interior convencional, sin aislamiento térmico, hoja exterior cerámica y clara. En la zona 4 este cerramiento presenta una demanda total 32,2% menor y una demanda de refrigeración 60% menor que la fachada ventilada modelo.



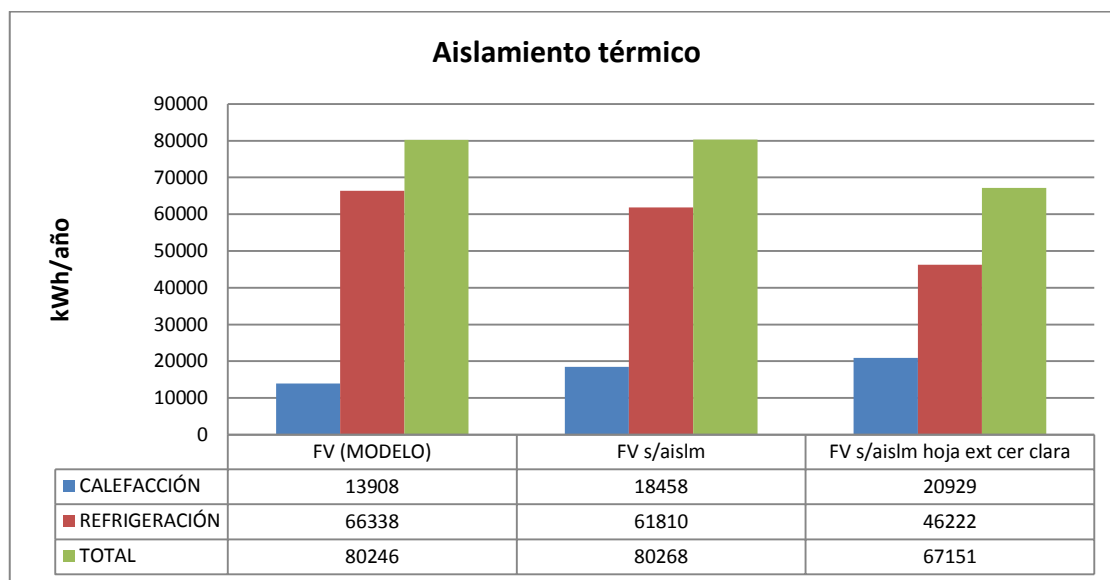
Gráfica 80. Comparación de las demandas energéticas anuales de la fachada con aislamiento térmico y sin aislamiento zona 4 (kWh/año)

En la zona 5 el ahorro es de 34,6% en la demanda total y 48% en la demanda de refrigeración.



Gráfica 81. Comparación de las demandas energéticas anuales de la fachada con distintos aislamiento y sin aislamiento – zona 5 (kWh/año)

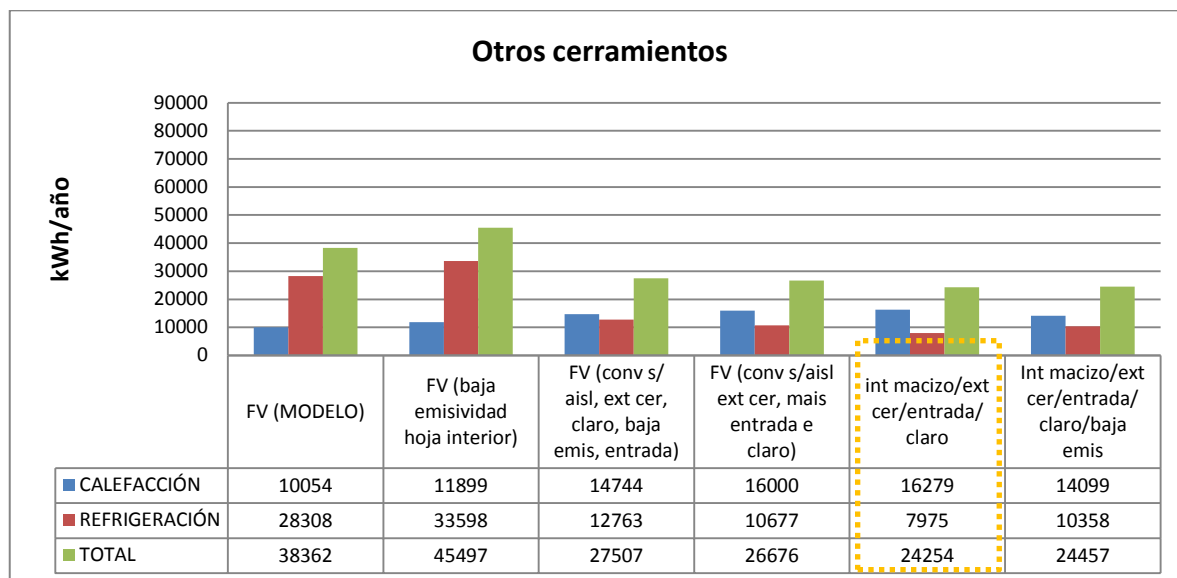
En la zona 6 el ahorro es de 16,31% en la demanda total y 30,3% en la demanda de refrigeración.



Gráfica 82. Comparación de las demandas energéticas anuales de la fachada con aislamiento térmico y sin aislamiento zona 6 (kWh/año)

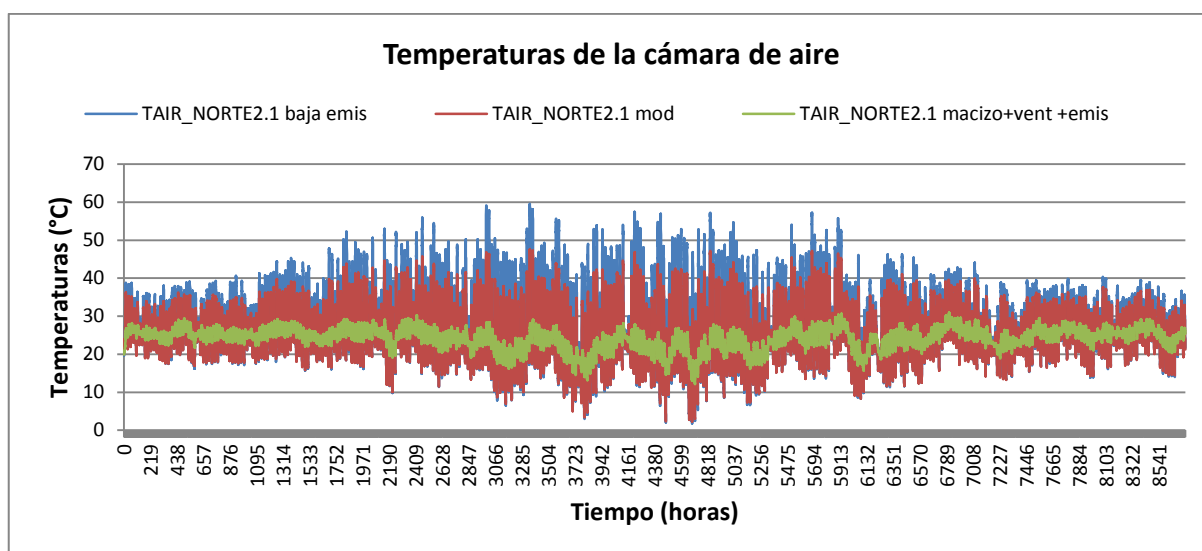
6.2.6 Otros cambios

Así como en las zonas anteriores, se ha probado otros tipos de cerramiento con el fin de buscar el mejor comportamiento de la fachada ventilada en las zonas 4, 5 y 6. No se han probado cerramientos con aislamiento térmico.



Gráfica 83. Demandas energéticas anuales de otros cerramientos – zona 4

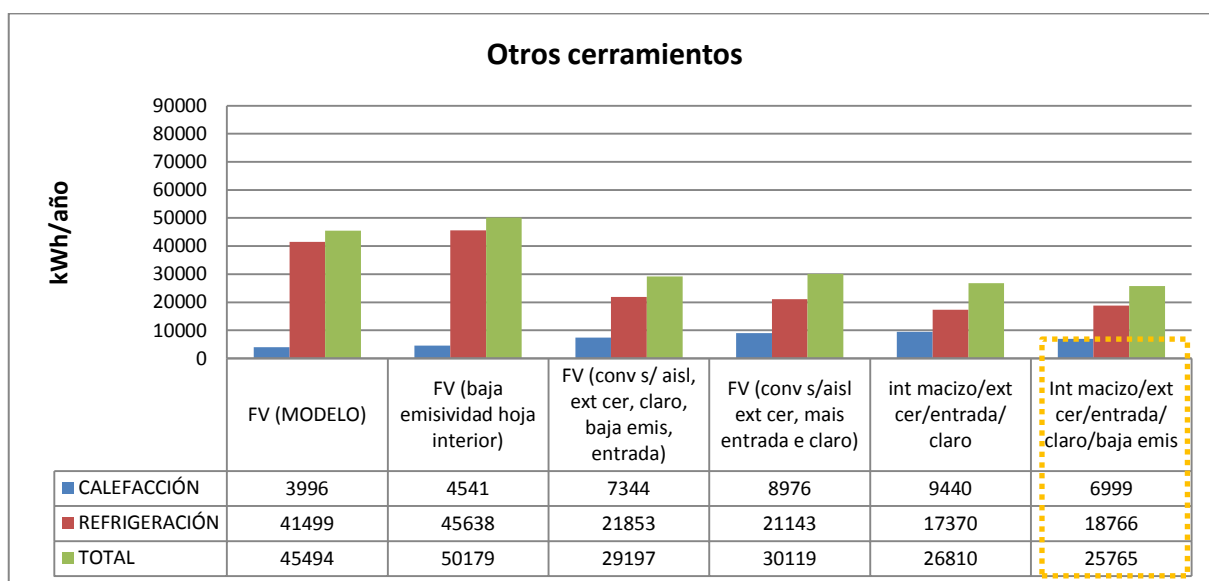
La primera comparación que se hace es cuando se pone una capa de baja emisividad dentro de la cámara de aire. Por los resultados se observa que esta estrategia no es efectiva para la zona 4, las demandas de refrigeración y total son mayores que la fachada modelo.



Gráfica 84. Comparación entre temperaturas de las cámaras de la fachada ventilada modelo, fachada modelo con baja emisividad en la cámara y fachada con hoja interior maciza, mayor grado de ventilación y baja emisividad en la cámara. Zona 4.

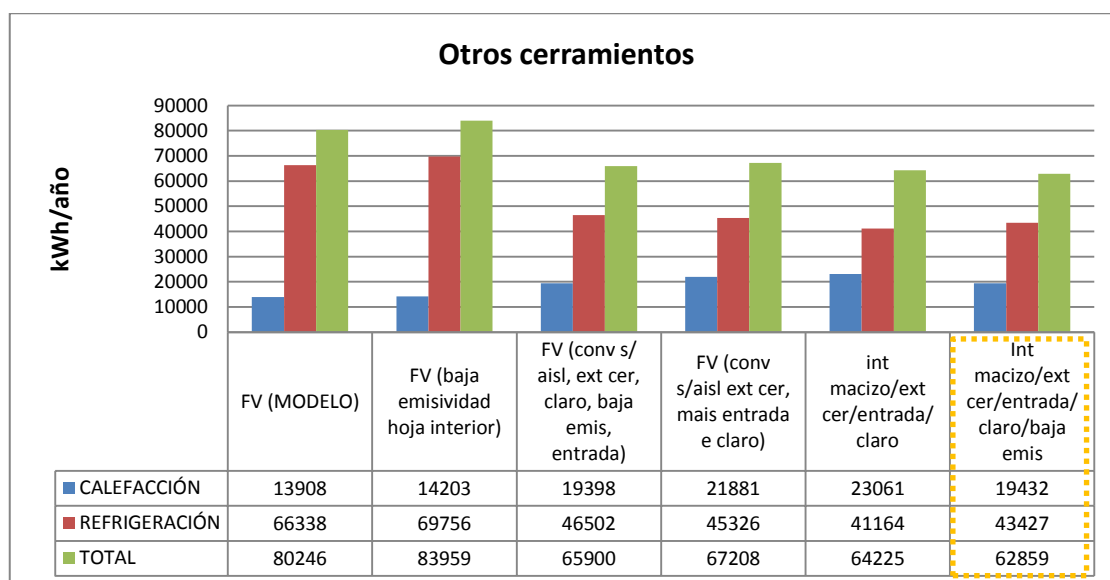
Del gráfico anterior es posible concluir que cuando la emisividad es disminuida en la cámara y no hay ventilación suficiente, la temperatura sube (la lámina de baja emisividad ha sido puesta en la hoja interior, así el calor queda atrapado en la cámara). Sin embargo, si hay más ventilación y la hoja exterior tiene más masa, el comportamiento es mucho mejor, las temperaturas son más estables, variando poco, como muestra la línea verde de la gráfica.

Al final, el mejor cerramiento para la zona 4 es el que está compuesto de hoja interior maciza, hoja exterior cerámica clara y entradas y salidas mayores. Esto se debe a la gran amplitud térmica a que el edificio está sometido en este clima. El ahorro es de 33,7% en comparación a la fachada modelo.



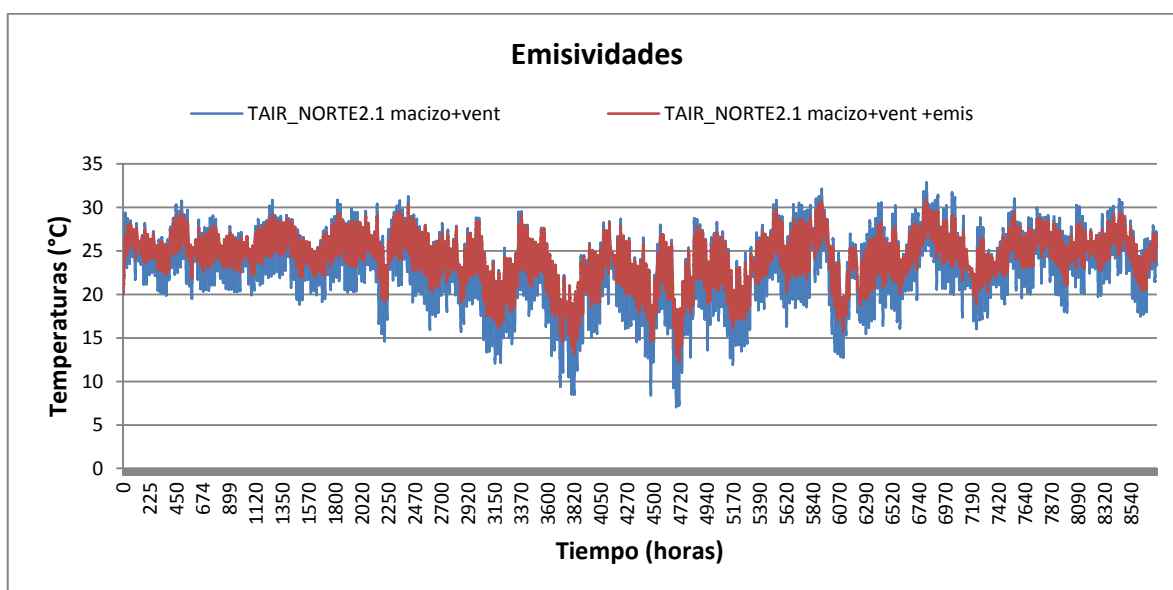
Gráfica 85. Demandas energéticas anuales de otros cerramientos – zona 5

La zona 5 el ahorro es de 43,3% en la demanda total y de refrigeración 54,8% con el mismo cerramiento pero añadiendo la lámina bajo emisiva en la cámara.



Gráfica 86. Demandas anuales de otros cerramientos – zona 6

En la zona 6 el ahorro es de 21,66% en la demanda total y de 34,53% en refrigeración con el mismo cerramiento de la zona 5.

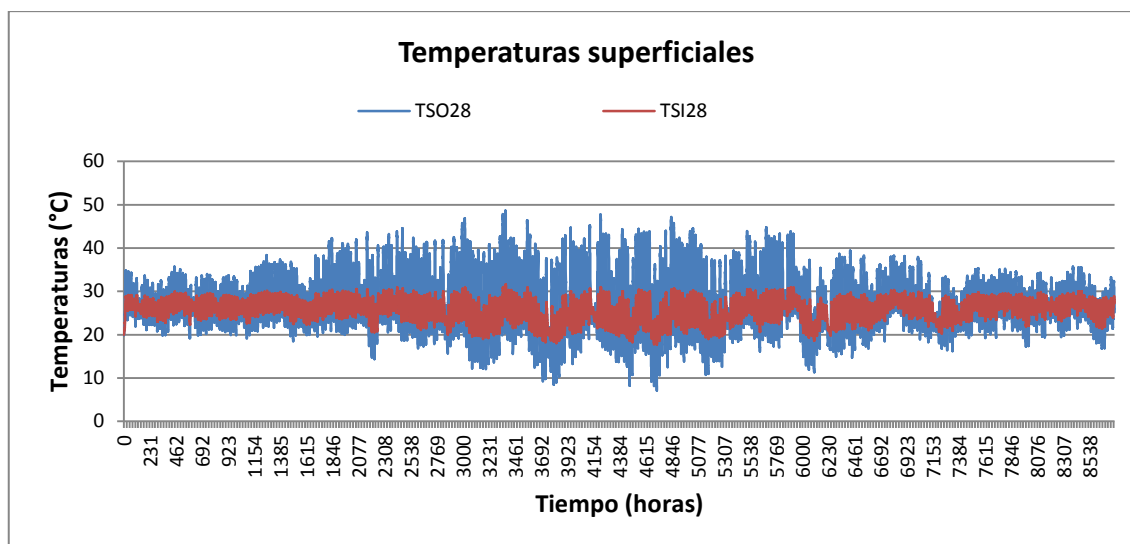


Gráfica 87. Comparación entre el cerramiento con emisividad normal y con baja emisividad en la zona 6, con cerramiento interior macizo y más ventilación.

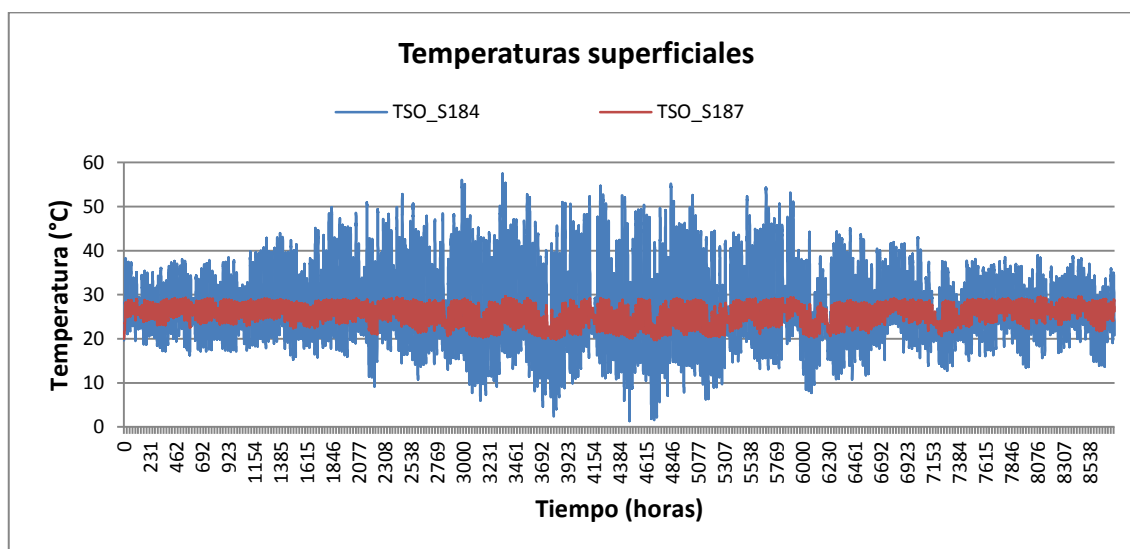
En la gráfica anterior se puede percibir que las temperaturas máximas del cerramiento con lámina bajo emisiva son menores que las temperaturas máximas de un cerramiento con emisividad normal. Ya comparando las temperaturas mínimas, este cerramiento presenta temperaturas mayores que el normal.

Análisis de las superficies

A partir de un análisis detallado de las temperaturas superficiales se buscan indicios del porque la fachada ventilada modelo no presenta buen comportamiento en estos climas.



Gráfica 88. Temperaturas superficiales interiores (TSI 28) y exteriores (TSO 28) en la fachada norte de un cerramiento convencional en la zona 6.



Gráfica 89. Temperaturas superficiales interna (TSO_187) y externa (TSO_S184) en la fachada norte de una fachada ventilada en la zona 6.

Analizando las dos gráficas anteriores queda claro que las altas temperaturas alcanzadas en la cámara del cerramiento modelo, principalmente en invierno, auxilian su comportamiento térmico en esta época del año. A continuación serán analizados detalles de las temperaturas en una hora específica.

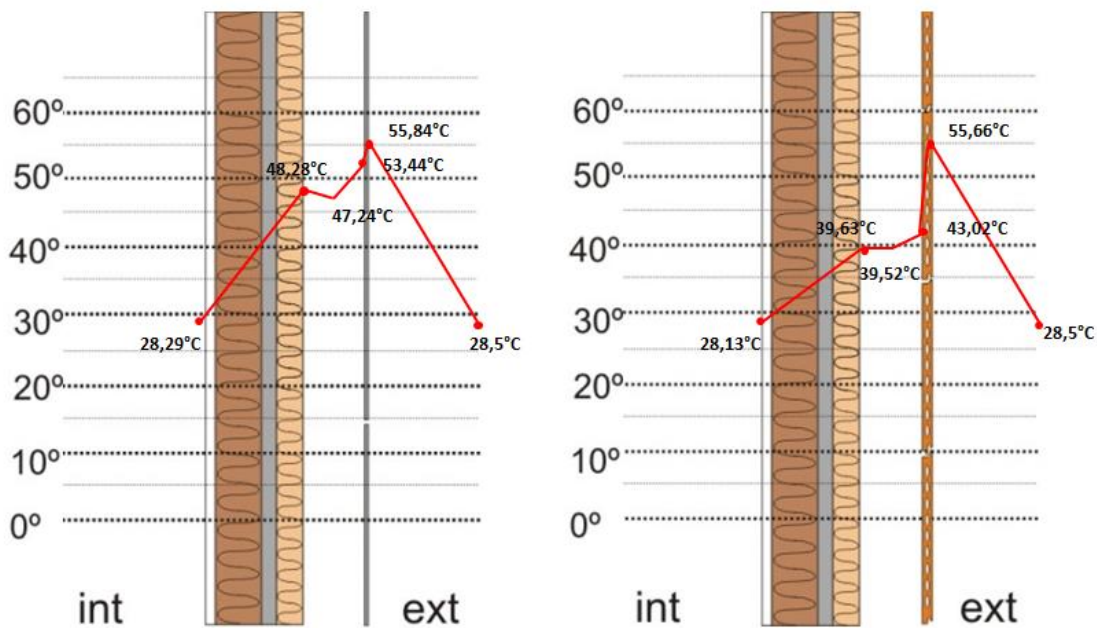


Fig. 160. Fluctuaciones de las temperaturas de la fachada modelo y de la fachada con hoja exterior cerámica, en la misma hora de invierno (3348), fachada norte. Zona 6

En la figura anterior se observa la diferencia en el perfil de temperaturas cuando se cambia la hoja exterior, de aluminio para cerámica. Esta última tiene más inercia y hace que la temperatura dentro de la cámara sea menor.

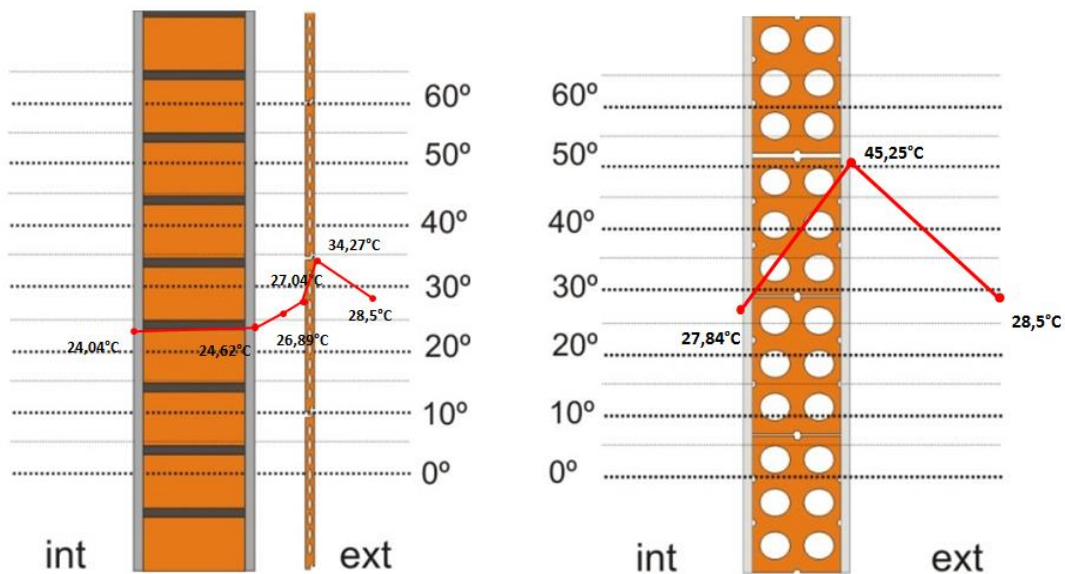


Fig. 161 Fluctuaciones de las temperaturas de la fachada con mejor comportamiento (hoja interior maciza, entradas y salidas mayores, hoja exterior cerámica, color claro, sin aislamiento térmico) y de la fachada convencional en la misma hora de invierno, fachada norte. Zona 6

En la figura anterior están representados los perfiles de temperatura de dos cerramientos: el que presenta mejor comportamiento (isquierda - hoja interior maciza, hoja exterior cerámica clara y entradas y salidas mayores) y el convencional (derecha)

con demanda energética alta. Es posible afirmar que el buen comportamiento de la fachada de la izquierda se da debido a baja temperatura que alcanza la cámara de aire ($26,89^{\circ}\text{C}$) en comparación a la fachada modelo ($47,24^{\circ}\text{C}$) o la fachada con hoja cerámica exterior ($39,59^{\circ}\text{C}$).

En la figura abajo se presentan los perfiles de temperaturas con diferentes grados de ventilación. Lo que se puede percibir es que no hay variación entre la ventilación total y la ventilación hecha por entradas y salidas grandes. Las otras ventilaciones presentan temperaturas mayores en la cámara.

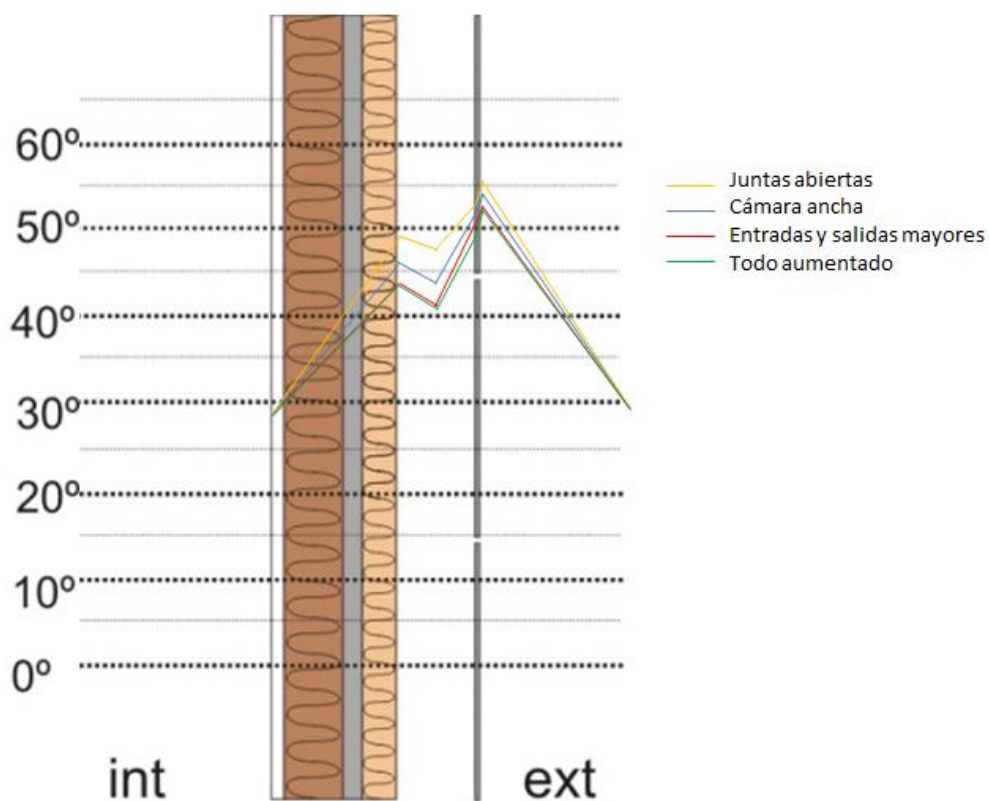


Fig. 162 Comparación entre distintos tipos de ventilación en la cámara en invierno. La cantidad de aire que pasa por la cámara afecta todas las temperaturas. Zona 6.

Las temperaturas de las zonas 4 y 5 son analizadas a continuación. Se hace una comparación entre la fachada con mejor comportamiento y la fachada modelo.

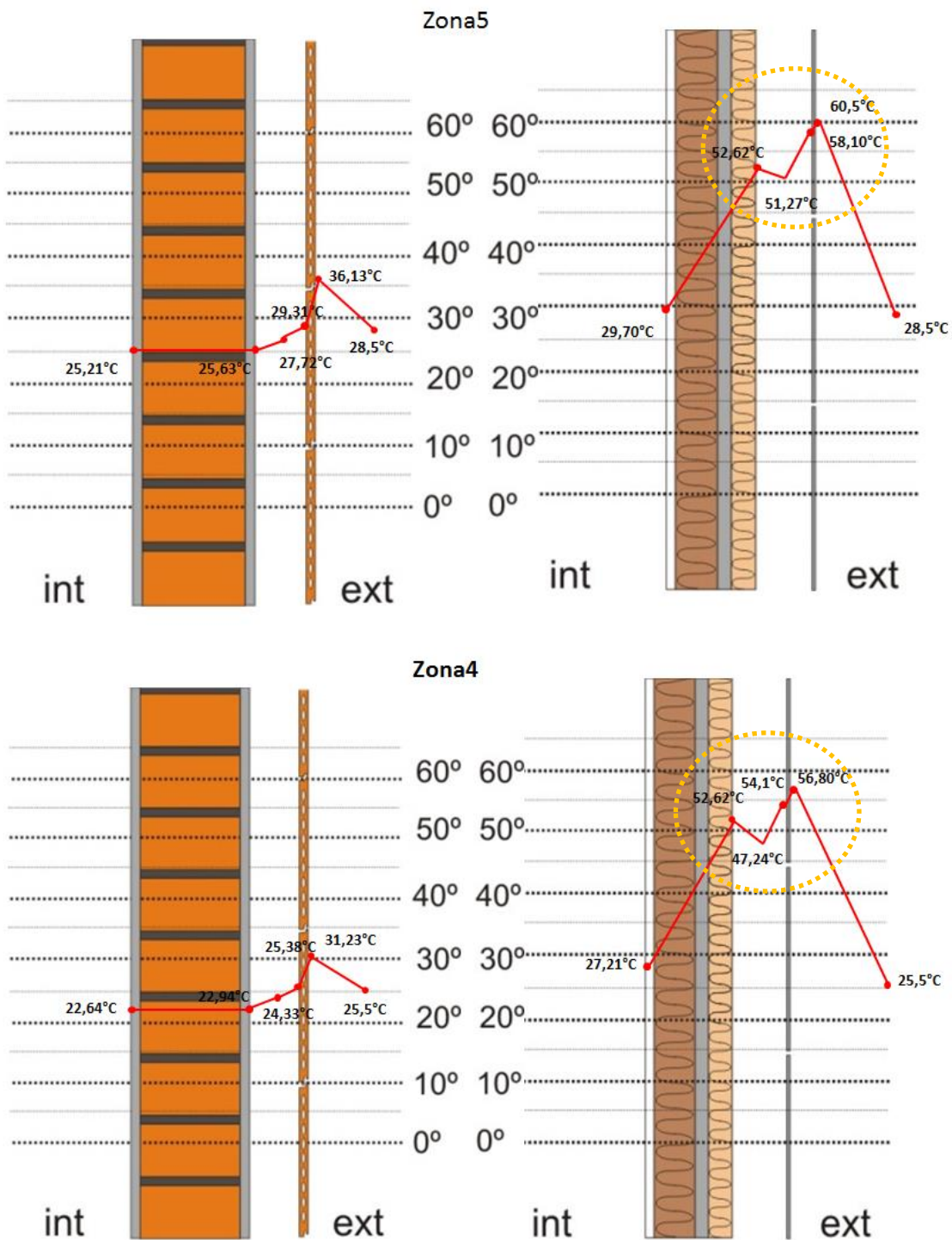


Fig. 163 Fluctuaciones de las temperaturas de la fachada con mejor comportamiento y de la fachada modelo en la misma hora de invierno, fachada norte. Zonas 4 y 5.

En las figuras anteriores, es posible concluir que el efecto de “atrapar” el calor en la cámara de aire ocurre en la fachada ventilada modelo. En la fachada sin aislamiento, clara y con mucha ventilación (izquierda) se verifica que las temperaturas son mucho menores, siendo reflejado en las demandas menores.

Otro factor importante es comprobar el efecto chimenea que ocurría en las zonas 1, 2 y 3, en las zonas 4, 5 y 6 también ocurre, principalmente en la fachada norte, la más asoleada.

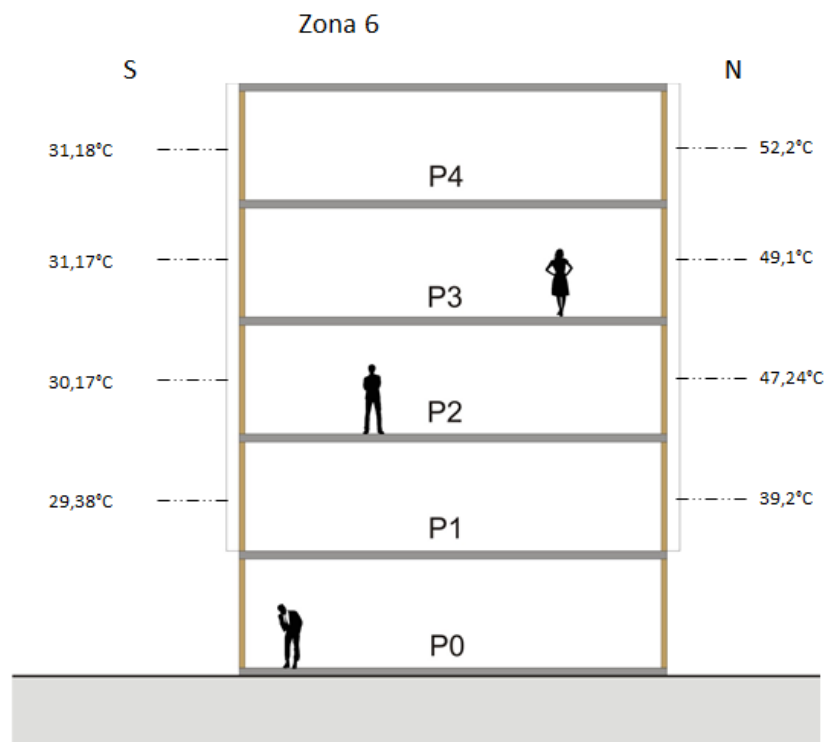


Fig. 164 Efecto chimenea en la fachada soleada en invierno, aumento de temperaturas en vertical – norte – zona 6.

6.2.7 Algunas conclusiones parciales

Para las tres zonas analizadas anteriormente las conclusiones son las siguientes:

- La fachada modelo presenta mejor comportamiento que la fachada convencional, pero las temperaturas en la cámara son bastante altas.
- El color claro es el mejor para las tres zonas, baja la demanda de refrigeración.
- El color claro presenta comportamiento semejante al de las fachadas no soleadas.
- El color es indiferente si no hay incidencia de radiación solar.
- La hoja exterior con más masa (cerámica) reduce la demanda de refrigeración en todas las zonas. Sin embargo la reducción es menor que la debida al color del cerramiento exterior.

- Cuanto más aire en la cámara, mayor el ahorro energético, pero este ahorro es pequeño.
- Entre las mayores aperturas (entradas y salidas) o la situación dónde se ha aumentado todo (cámara, juntas y aperturas) no hay grandes diferencias en las demandas, se puede elegir lo más sencillo, aumentar las aperturas de entrada y salida.
- El aislamiento térmico se ha mostrado inadecuado. Las ganancias internas y solares no consiguen ser dissipadas con la presencia de aislamiento.
- La baja emisividad *per se* también se ha mostrado ineficiente. Hay que tener ventilación junto para que funcione.
- El mejor cerramiento para la zona 4 ha sido el que presenta la hoja interior maciza, la hoja exterior cerámica clara y entradas y salidas de aire mayores.
- Ya en las zonas 5 y 6, lo más efectivo ha sido el cerramiento igual que le 4 pero añadiendo una lámina de baja emisividad en la cámara.

6.3 Zonas Climáticas 7 y 8

Estas dos zonas están situadas en el noreste y norte del país. Abajo se presentan sus ubicaciones, temperaturas anuales y radiación solar en las diferentes fachadas. Son los climas con temperaturas más estables del país. No existe invierno, o estación fría en estas localidades. Hay periodos más o menos lluviosos, pero las temperaturas siempre están comprendidas entre los 20°C durante la noche y los 35°C durante el día. El área comprendida por la zona 8 es la mayor del país, pero gran parte de esta zona está en la selva.

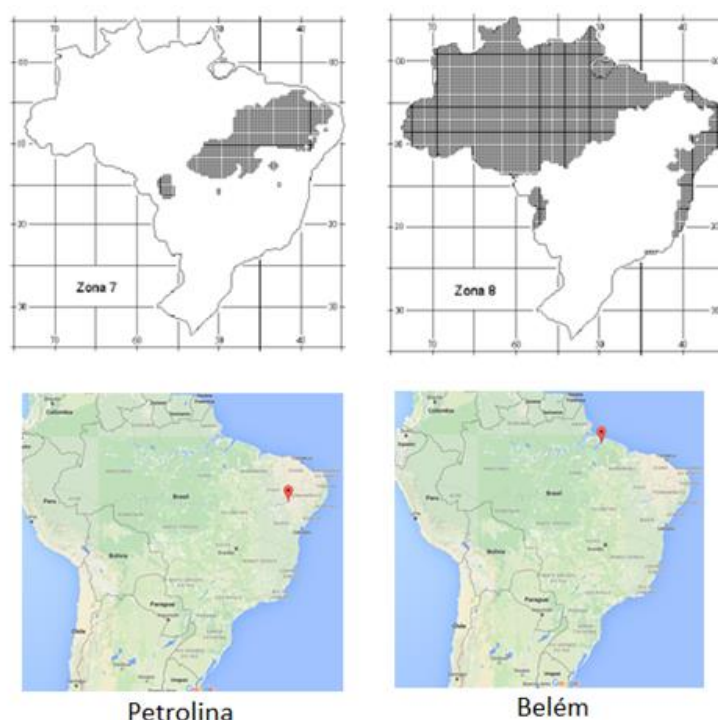
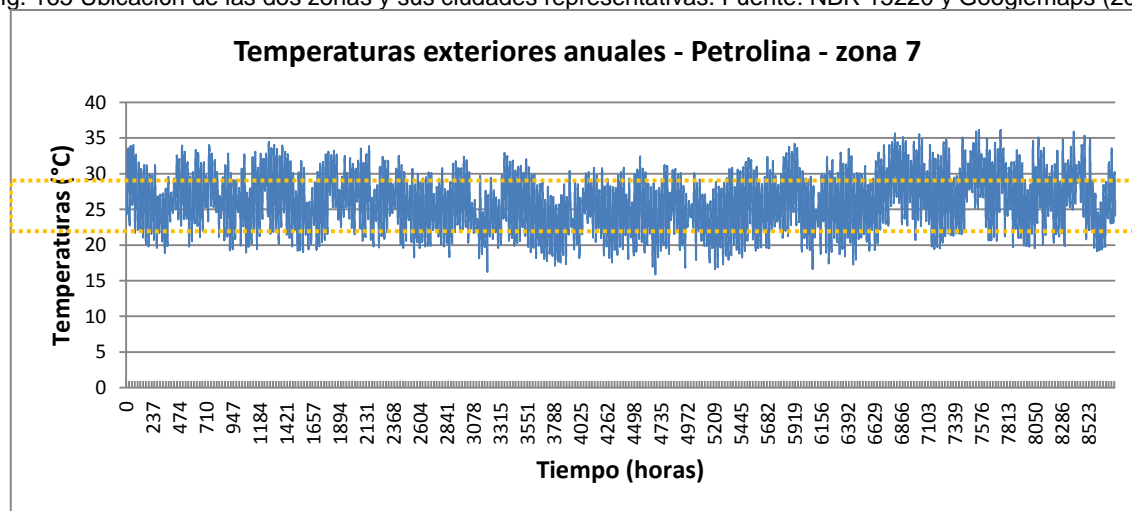
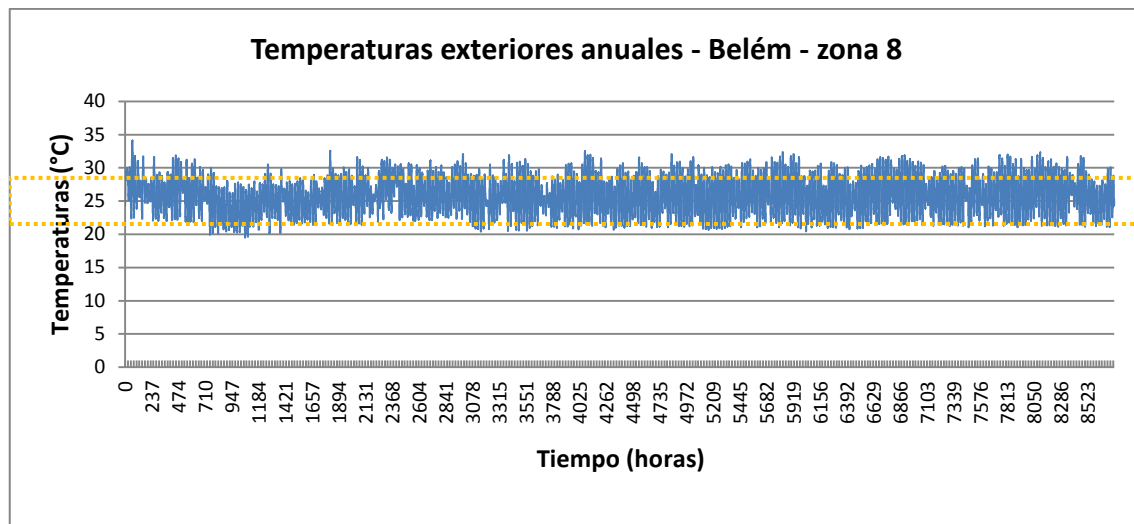


Fig. 165 Ubicación de las dos zonas y sus ciudades representativas. Fuente: NBR 15220 y Googlemaps (2015)

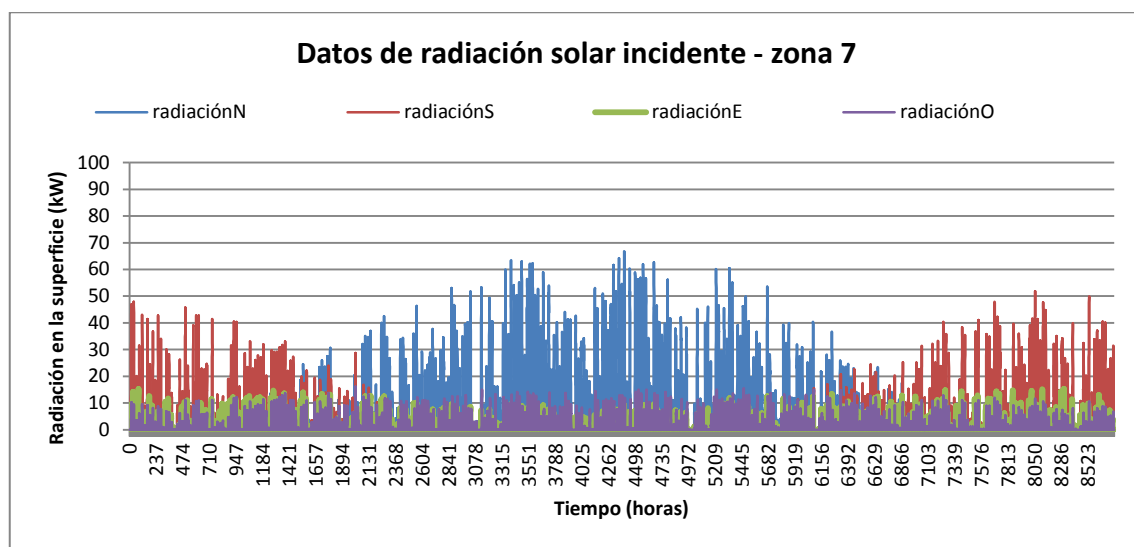


Gráfica 90. Temperaturas anuales de la ciudad de Petrolina, noreste del país, zona climática 7 (°C). La línea amarilla significa la zona de confort considerada para Brasil (21 a 27°C). Fuente: Archivos climáticos de METEONORM®

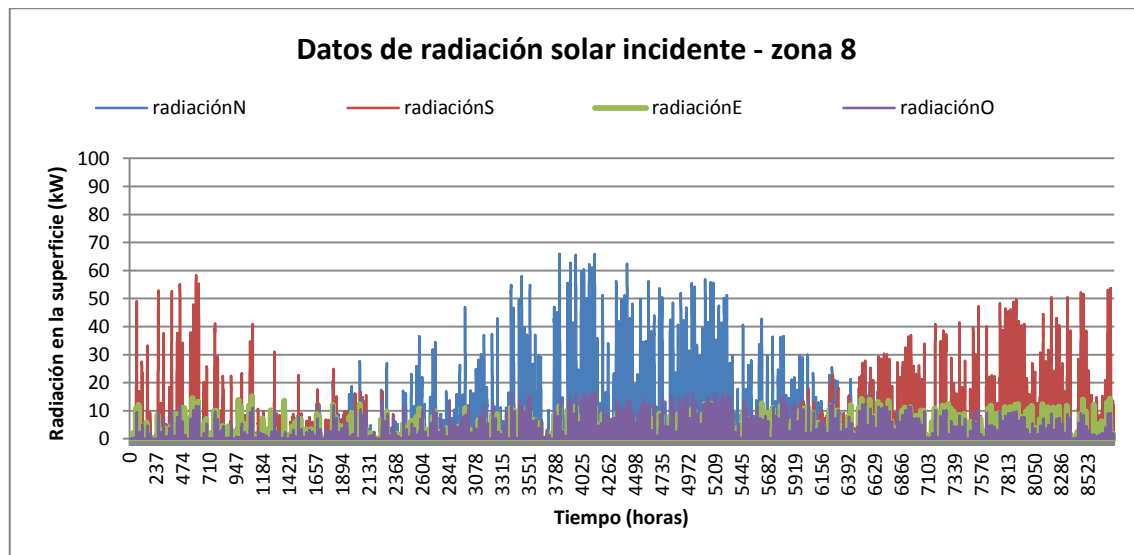


Gráfica 91. Temperaturas anuales de la ciudad de Belém, norte del país, zona climática 8 (°C). La línea amarilla significa la zona de confort considerada para Brasil (21 a 27°C). Llama la atención la estabilidad climática de esta ciudad, un típico clima cálido-húmedo. Fuente: Archivos climáticos de METEONORM®

6.3.1 Radiación solar en las diferentes fachadas del edificio



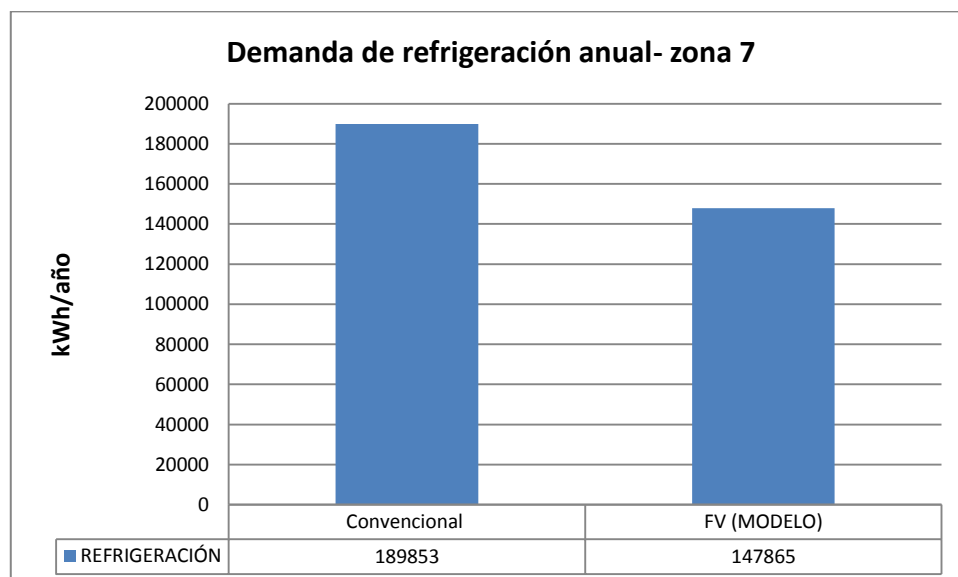
Gráfica 92. Datos de radiación solar incidente sobre los distintos planos zona 7 (kW). En verano la fachada sur recibe mayor cantidad de radiación solar y en invierno la fachada norte es la más asoleada. Fuente: Simulación en Trnsys®



Gráfica 93. Datos de radiación solar incidente sobre os distintos planos zona 8(kW). La cantidad de radiación en cada fachada en menor que en otras zonas pues la mayor cantidad está concentrada en la cubierta. Fuente: Simulación en Trnsys[®]

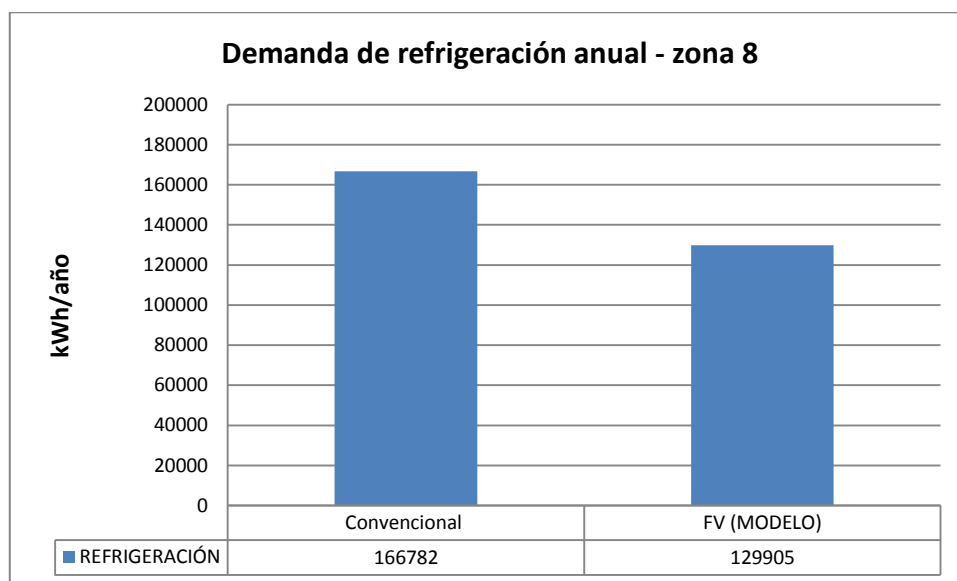
En estas zonas también se percibe que la fachada ventilada modelo no presenta el mismo comportamiento que las zonas 1, 2 y 3. En las zonas 7 y 8 la fachada ventilada modelo tiene un comportamiento semejante al de las zonas 4, 5 y 6.

Es importante señalar que en estos 2 climas sólo se necesita refrigeración, por las condiciones mencionadas anteriormente. Las demandas calculadas por el software son bastante altas especialmente en la zona 7.



Gráfica 94. Comparación entre las demandas anuales de un edificio con fachada convencional y otro con la fachada ventilada modelo zona 7 (kWh/año).

En esta zona la fachada convencional presenta una demanda de refrigeración un 22,12% mayor que la demanda de la fachada ventilada modelo.



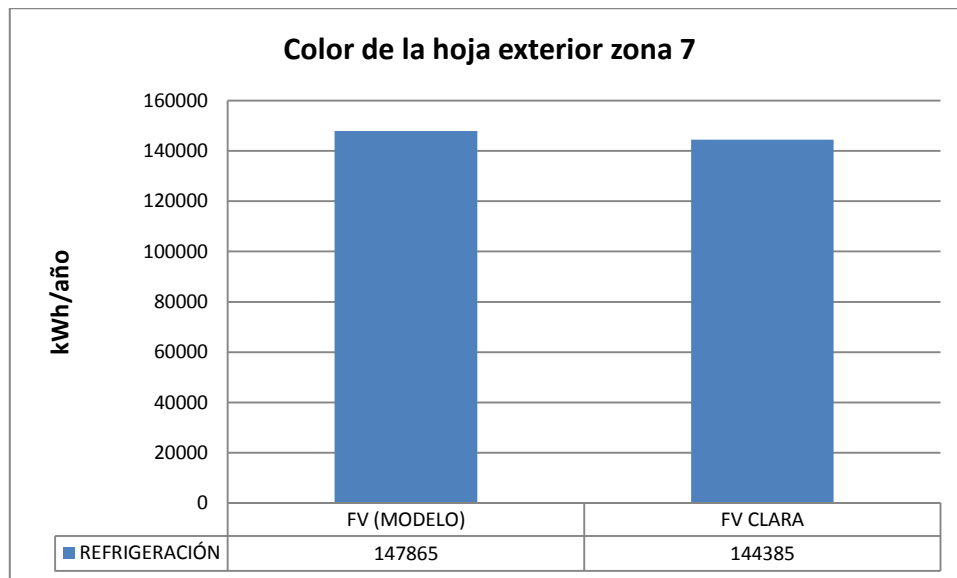
Gráfica 95. Comparación entre las demandas anuales de un edificio con fachada convencional y otro con la fachada ventilada modelo zona 8 (kWh/año).

En la zona 8 la fachada convencional presenta una demanda de refrigeración un 22,11% mayor que la demanda de la fachada ventilada modelo. Es importante subrayar que en todos los climas con temperaturas altas en la mayor parte del año estos resultados se repiten.

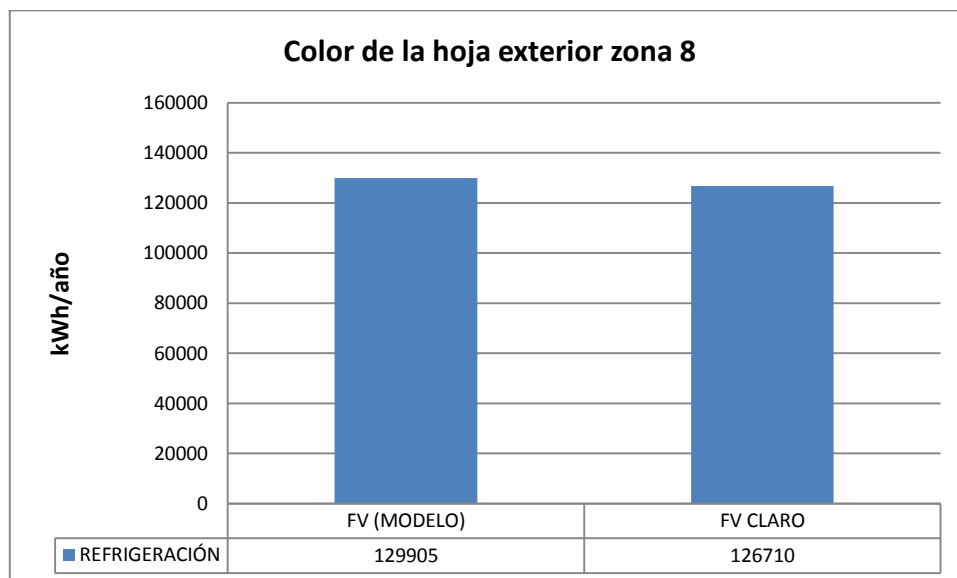
6.3.2 Color de la hoja exterior

Al compararse el color del cerramiento, las zonas 7 y 8 también se benefician de la utilización de colores más claros. En la zona 7 hay una reducción de 2,35% en la demanda de refrigeración cuando el color es claro, con absorptividad de 0,2. En la zona 8 la reducción es de 2,45%, comparado al cerramiento con color más oscuro con absorptividad de 0,6.

La hoja exterior sola no tiene mucha influencia en el comportamiento general del cerramiento, pero da indicios de que puede funcionar junto a otras acciones.

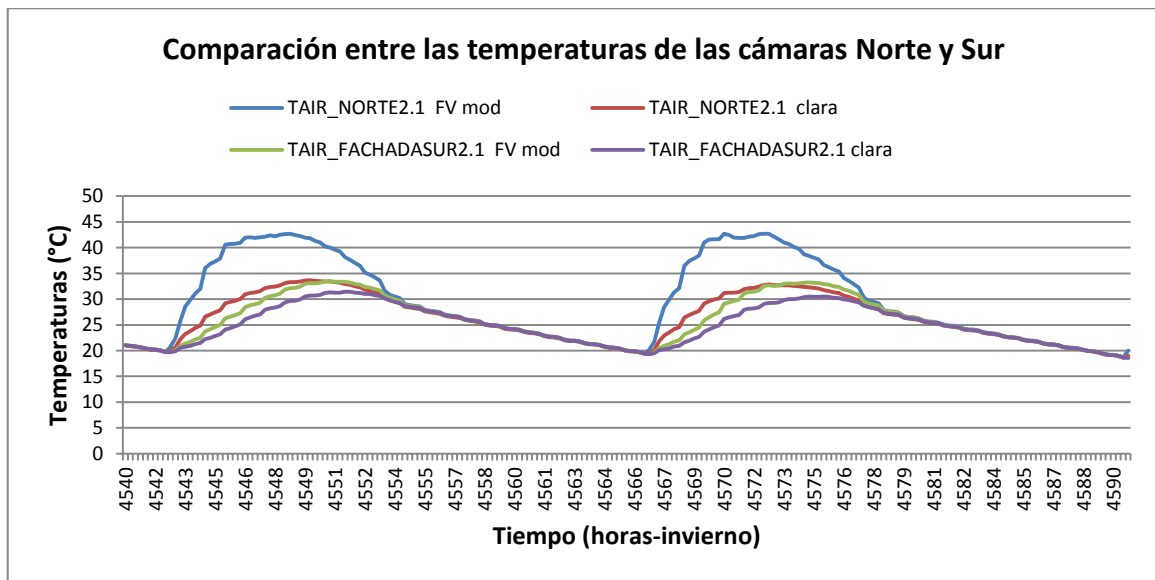


Gráfica 96. Comparación entre las demandas energéticas anuales de refrigeración de la fachada más oscura ($\alpha=0,6$) y la más clara($\alpha=0,2$) en la zona 7 (kWh/año)



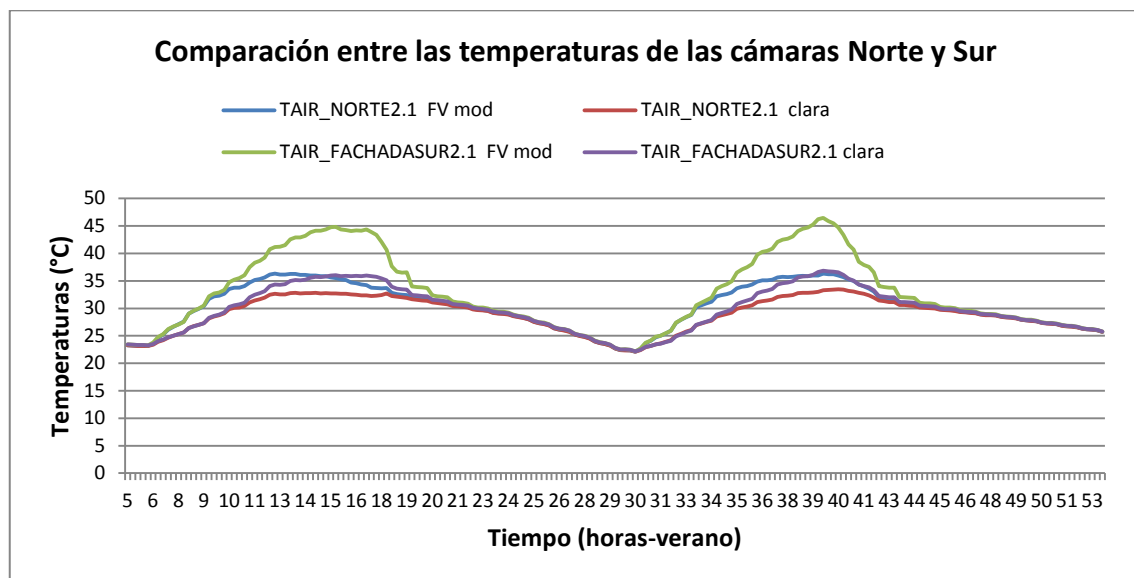
Gráfica 97. Comparación entre las demandas energéticas anuales de refrigeración de la fachada más oscura ($\alpha=0,6$) y la más clara($\alpha=0,2$) en la zona 8 (kWh/año)

Es posible, así como se hizo en las otras zonas, analizar más de cerca el perfil de las temperaturas dentro de la cámara de aire para entender lo que pasa en estos cerramientos y sus colores.



Gráfica 98. Perfil de temperaturas de la cámara de aire en la zona 7 , fachadas norte y sur , con color claro y oscuro (mod) en invierno.

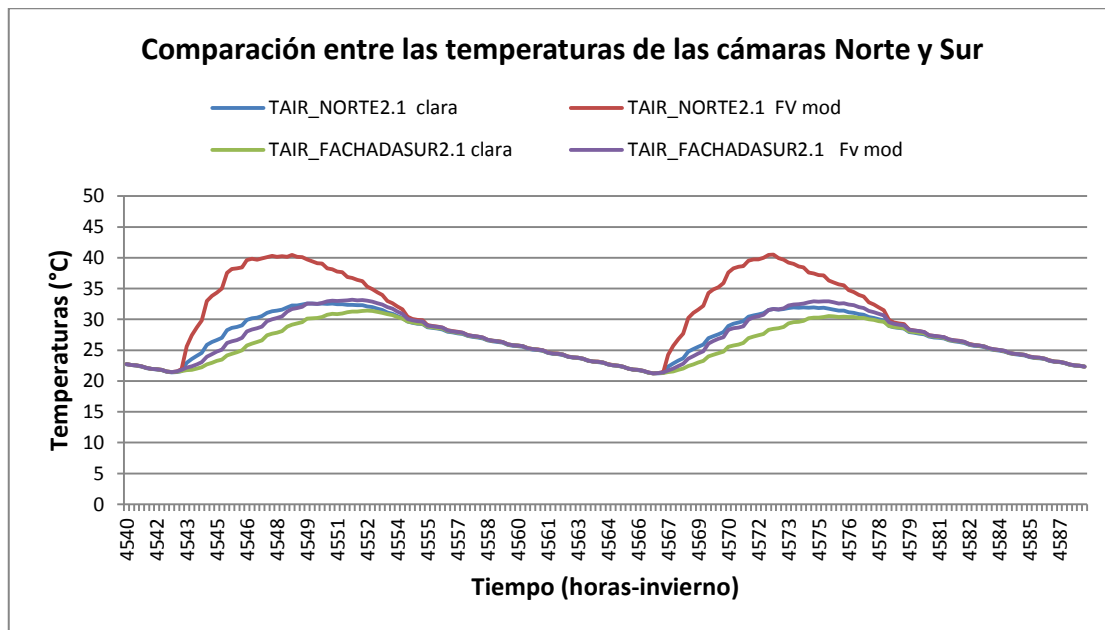
Observando el perfil de temperaturas arriba enseñado se puede percibir que la fachada modelo de color oscuro presenta temperaturas muy superiores al cerramiento de color claro durante el día (12°C). Este último se asemeja al comportamiento de la fachada sur, donde en esta época del año no incide el sol.



Gráfica 99. Perfil de temperaturas de la cámara de aire en la zona 7 , fachadas norte y sur , con color claro y oscuro (mod) en verano.

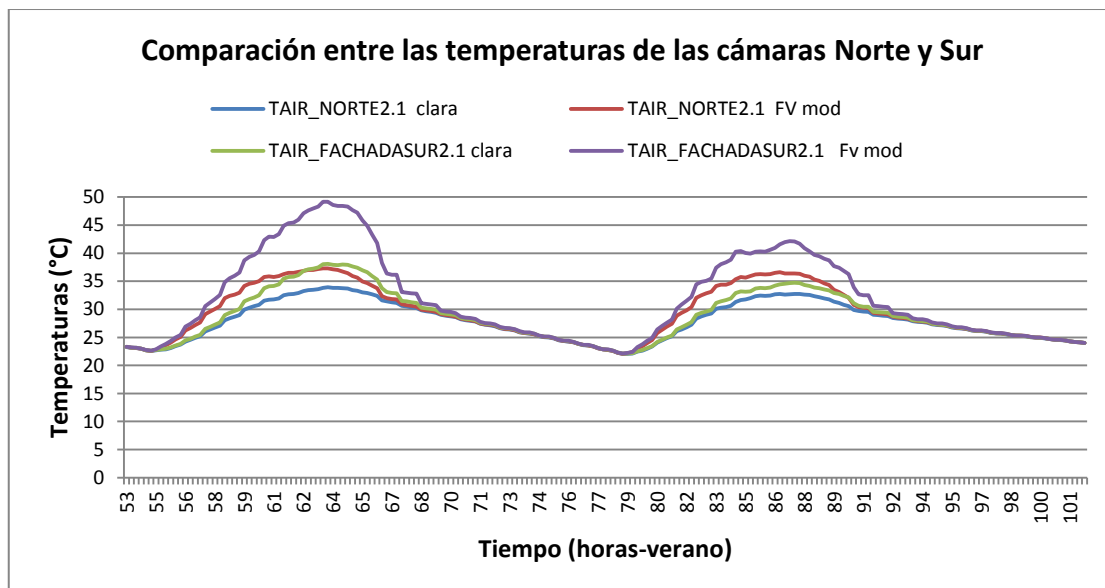
En verano¹⁷, por otro lado, la fachada sur del modelo es la que presenta mayores temperaturas, la fachada sur clara presenta el mismo comportamiento de las fachadas norte que no reciben radiación en esta época del año.

¹⁷ Aquí se refiere a invierno y verano como épocas del año, junio a septiembre y diciembre a marzo. Sin embargo el invierno en cuanto temperaturas es inexistente en estas regiones.



Gráfica 100. Perfil de temperaturas de la cámara de aire en la zona 8 , fachadas norte y sur , con color claro y oscuro (mod) en invierno.

Las temperaturas en la cámara de aire de la fachada norte, zona 8, son un poco más bajas que en la zona 7 en invierno. Ya en la fachada sur, en verano, las temperaturas son más altas en la zona 8 (debido a su latitud, casi en ecuador). En ambas situaciones las fachadas donde no incide el sol presentan temperaturas más bajas y semejantes a las fachadas de color claro.



Gráfica 101. Perfil de temperaturas de la cámara de aire en la zona 8, fachadas norte y sur , con color claro y oscuro (mod) en verano.

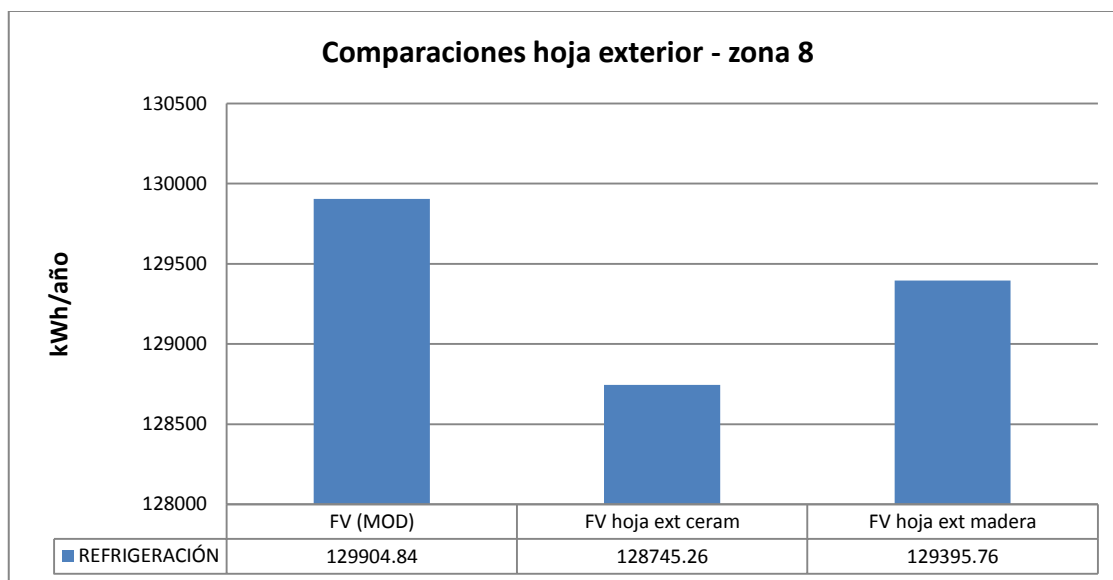
6.3.3 Hoja exterior

En las zonas estudiadas, así como en las zonas 4, 5 y 6, lo que se busca es la reducción de la demanda de refrigeración, el material de la hoja exterior tiene una pequeña influencia en esta situación. Se han probado la hoja cerámica y la hoja de madera en la zona 8. La hoja en madera es una opción de material con baja difusividad¹⁸.

REFRIGERACIÓN (kWh/año)		Zona 7
FV (MOD)	147865	
FV ceram	146729	
REFRIGERACIÓN (kWh/año)		Zona 8
FV (MOD)	129909	
FV ceram	128745	

En la zona 7 el ahorro energético es de 0,76% y en la zona 8, 0,86%. Sin embargo comparados al ahorro de las zonas 4, 5 y 6, esos valores son el doble en kWh. En climas cálidos la masa de la hoja exterior es importante.

Además de la hoja cerámica se ha probado la hoja en madera. Material bastante utilizado en las regiones.

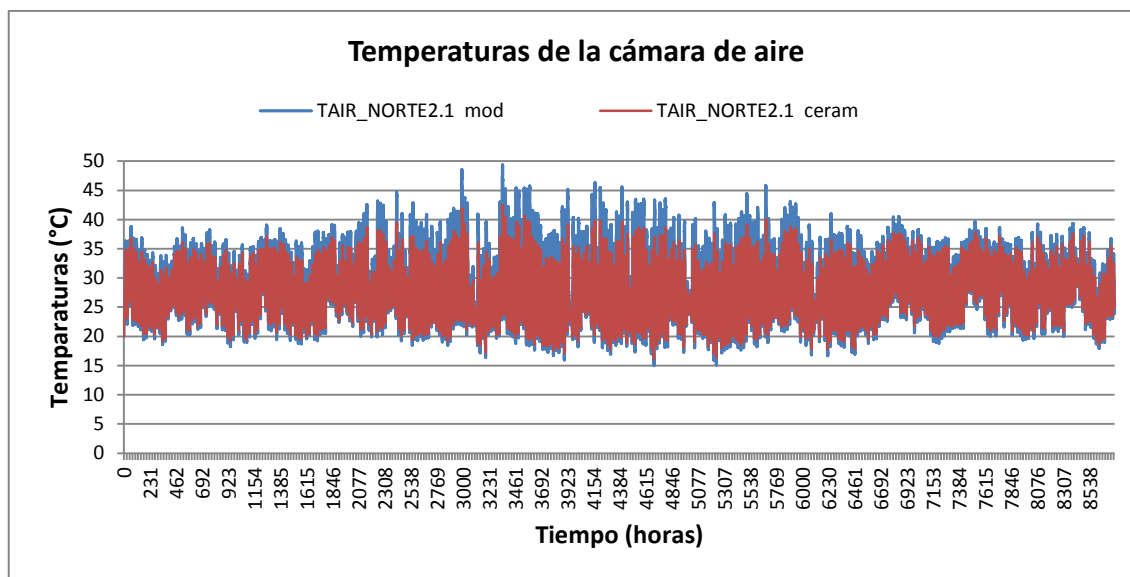


Gráfica 102. Demandas anuales de refrigeración: fachada modelo, hoja exterior cerámica y hoja exterior en madera. Zona 8.

¹⁸ **Difusividad térmica (α):** caracteriza la rapidez con la que varía la temperatura del material ante una solicitud térmica, por ejemplo, ante una variación brusca de temperatura en la superficie. Se puede calcular mediante la siguiente expresión:

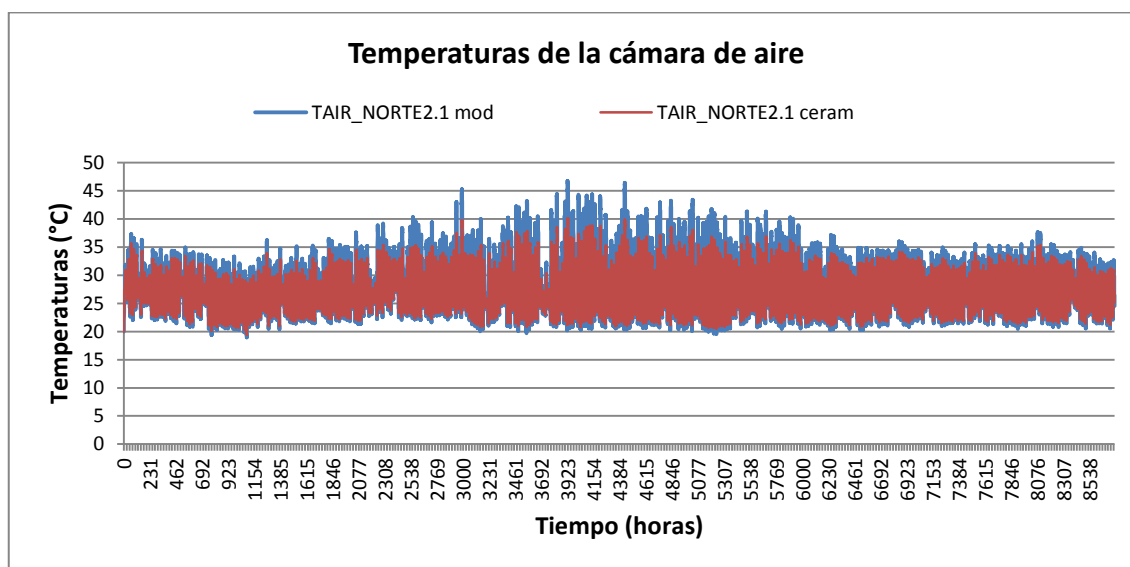
$$\alpha = k / (\rho \cdot C) \quad (\text{m}^2/\text{s}) \quad (\text{INCROPERA, 1999})$$

Analizando las tres hojas exteriores se concluye que la hoja cerámica, que tiene mayor masa, es la que presenta mejor comportamiento.



Gráfica 103. Temperaturas de la cámara en la fachada modelo (mod) y con la hoja exterior cerámica (ceram). Fachada Norte – zona 7

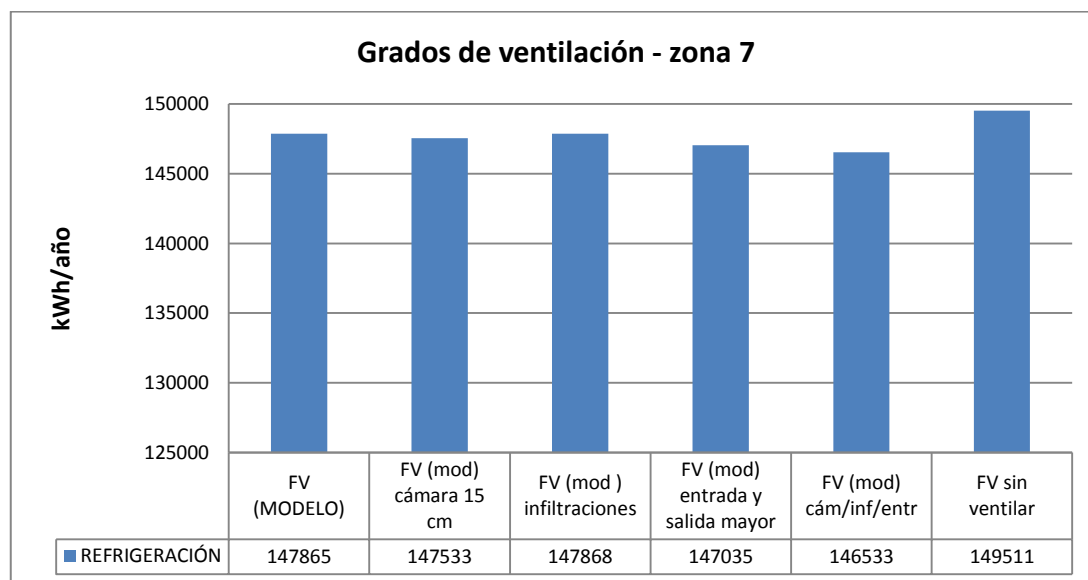
Los perfiles anuales de temperaturas de las dos zonas son muy similares, comparando la fachada modelo con la de hoja exterior cerámica (de mismo color), en el periodo de invierno las temperaturas presentan las mayores diferencias. Esta diferencia puede llegar a los 9°C.



Gráfica 104. Temperaturas de la cámara en la fachada modelo (mod) y con la hoja exterior cerámica (ceram). Fachada Norte – zona 8

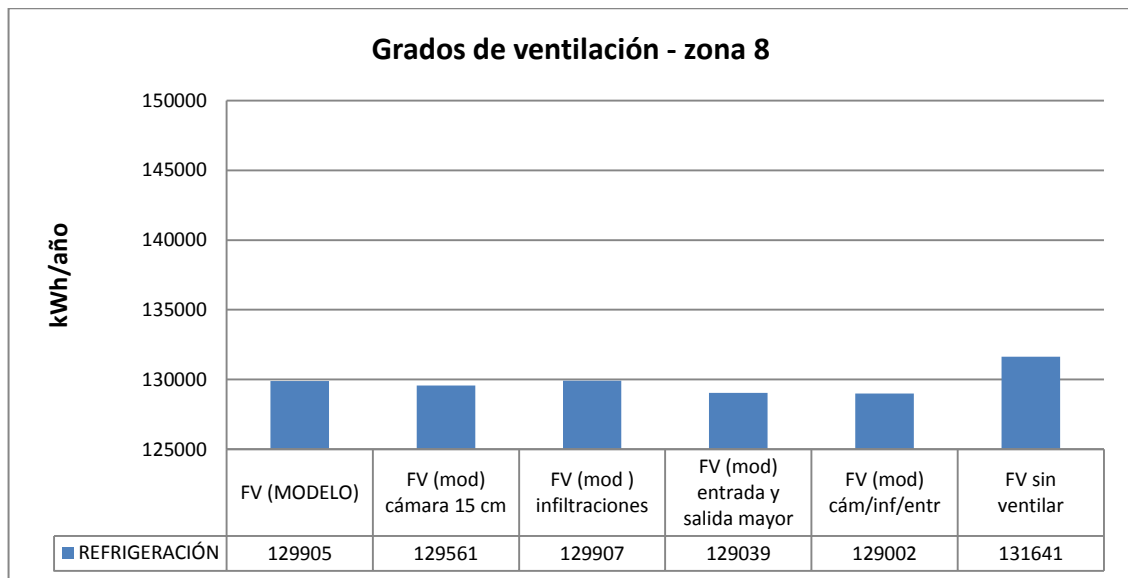
6.3.4 Grados de ventilación

Las mismas comparaciones de grados de ventilación de las otras zonas han sido realizadas para analizar la demanda de refrigeración. Sin embargo en estas zonas más cálidas se probarán fachadas con más ventilación.



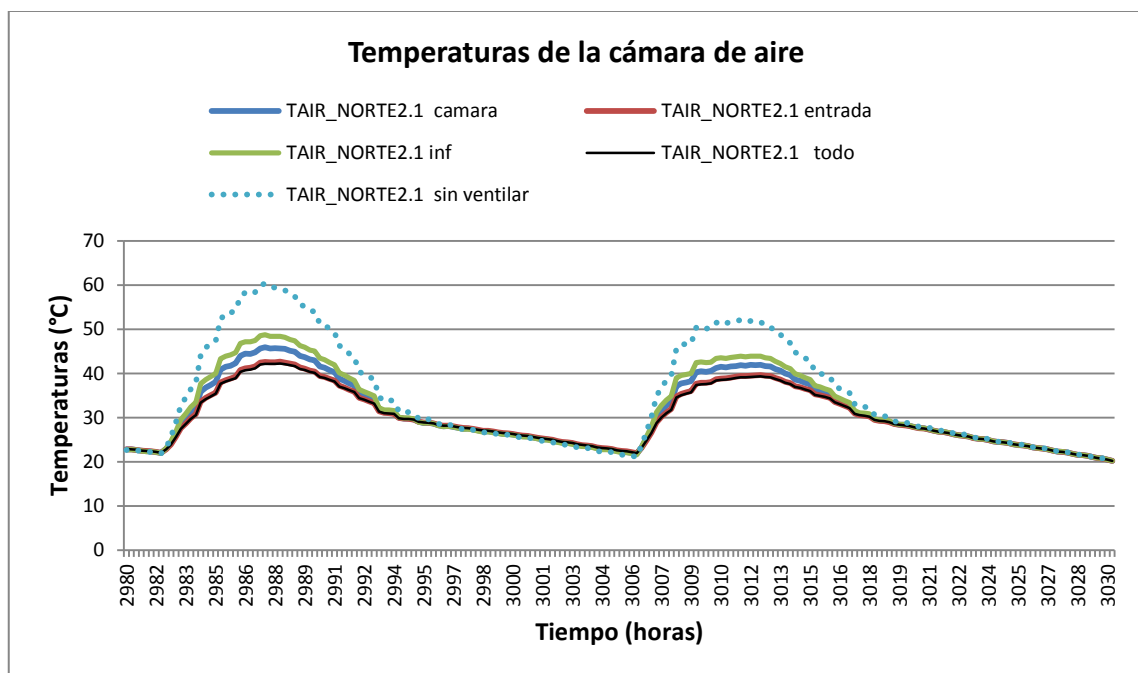
Gráfica 105. Comparación entre diferentes tipos de ventilación de la fachada ventilada modelo, zona 7.

Observando los 6 tipos de ventilación, también se concluye que en climas más cálidos, cuanto más aire en la cámara, mejor. De hecho no hay mucha diferencia entre entradas y salidas grandes y la ventilación total, eso es, con juntas, cámara más ancha y entradas y salidas mayores. La diferencia en la demanda es pequeña, 0,58% en la zona 7 y 0,69% en la zona 8 de la fachada modelo para la que presenta mejor comportamiento. Es importante subrayar que la demanda de refrigeración para la zona 7 es la mayor entre todas las zonas.

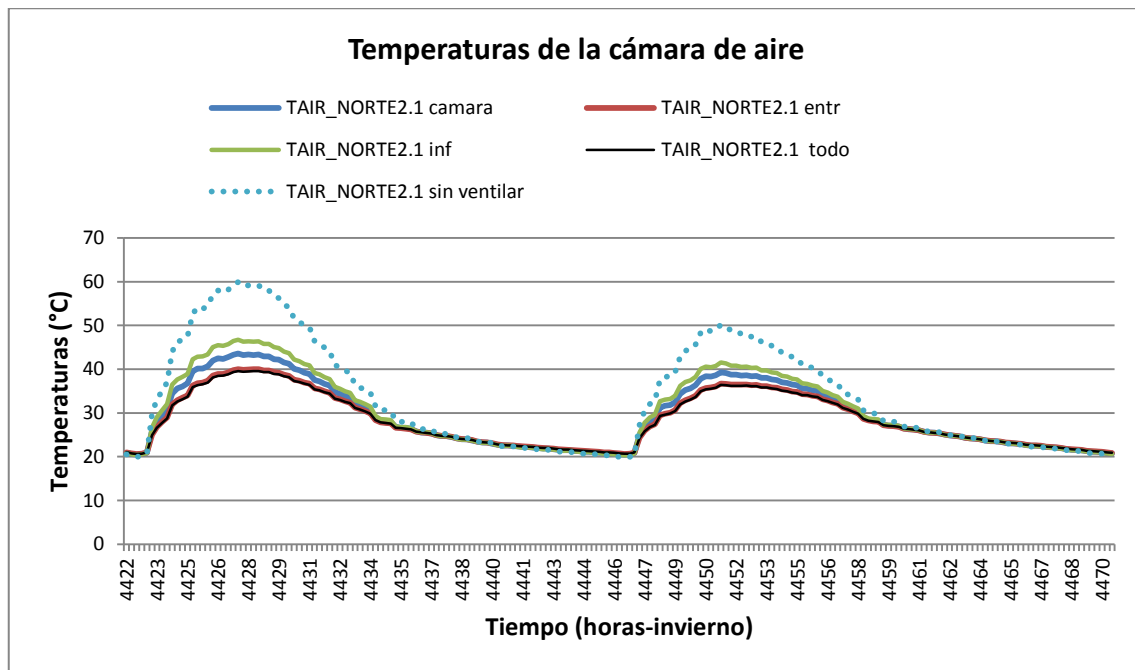


Gráfica 106. Comparaciones entre diferentes tipos de ventilación de la fachada ventilada modelo, zona 8

En la gráfica inferior (gráfica 107) se puede percibir que las menores temperaturas están en las fachadas con mayores entradas y salidas y las que tienen todo aumentado. Las mayores temperaturas están en la fachada sin ventilar, tan adecuada a las zonas 1, 2 y 3, pero en estas zonas es inadecuada.

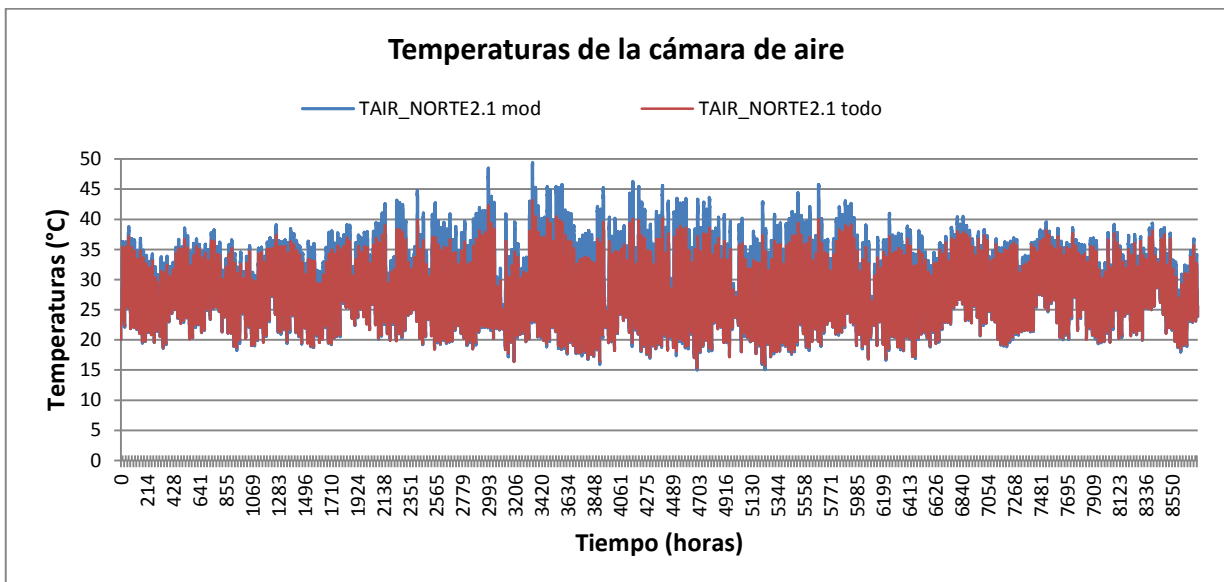


Gráfica 107. Temperaturas de la cámara de aire de la fachada sin ventilar, la fachada modelo (FV), la fachada con entradas y salidas mayores (entrada), la fachada con juntas abiertas (INF), la fachada con cámara más ancha (cámara) zona 7

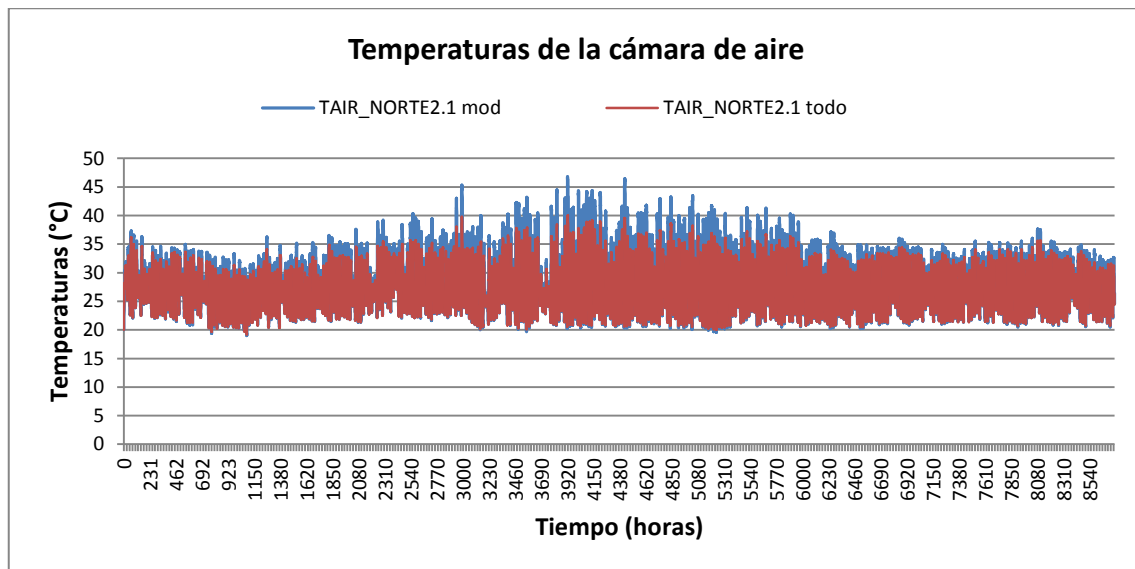


Gráfica 108. Temperaturas de la cámara de aire de la fachada sin ventilar, la fachada modelo (FV), la fachada con entradas y salidas mayores (entrada), la fachada con juntas abiertas (INF), la fachada con cámara más ancha (cámara), zona 8

En esta otra gráfica (gráfica 109) se presenta la comparación entre la fachada modelo y otra con ventilación total (mayor entrada y salida, infiltraciones y mayor cámara). Las temperaturas en esta última son menores tanto en verano cuanto en invierno.

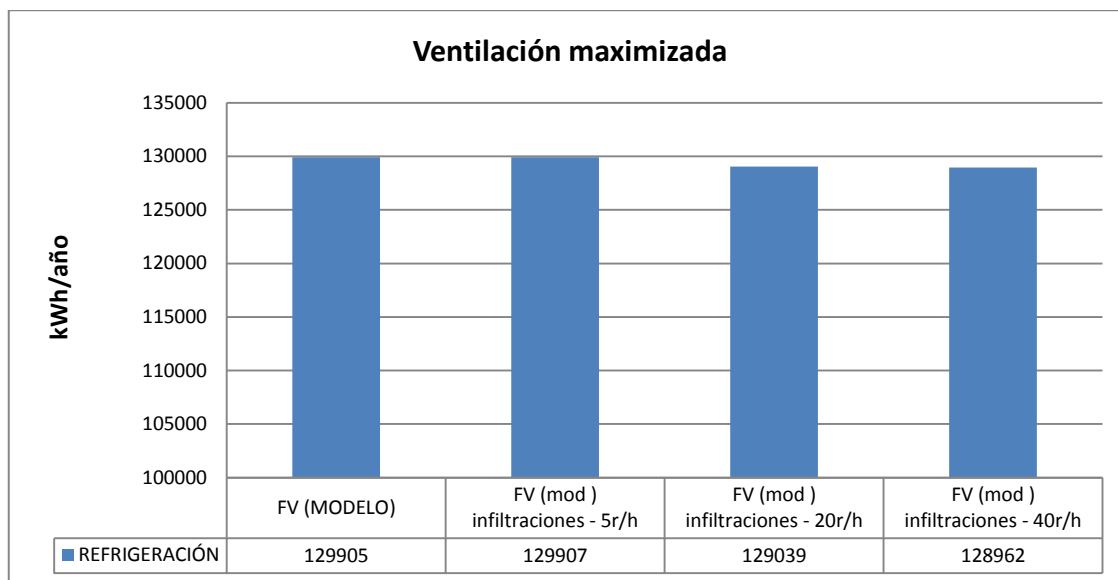


Gráfica 109. Temperaturas de la cámara de aire, fachada norte, comparación entre la fachada modelo y fachada con máxima ventilación, Zona 7.



Gráfica 110. Temperaturas de la cámara de aire, fachada norte, comparación entre la fachada modelo y fachada con máxima ventilación Zona 8

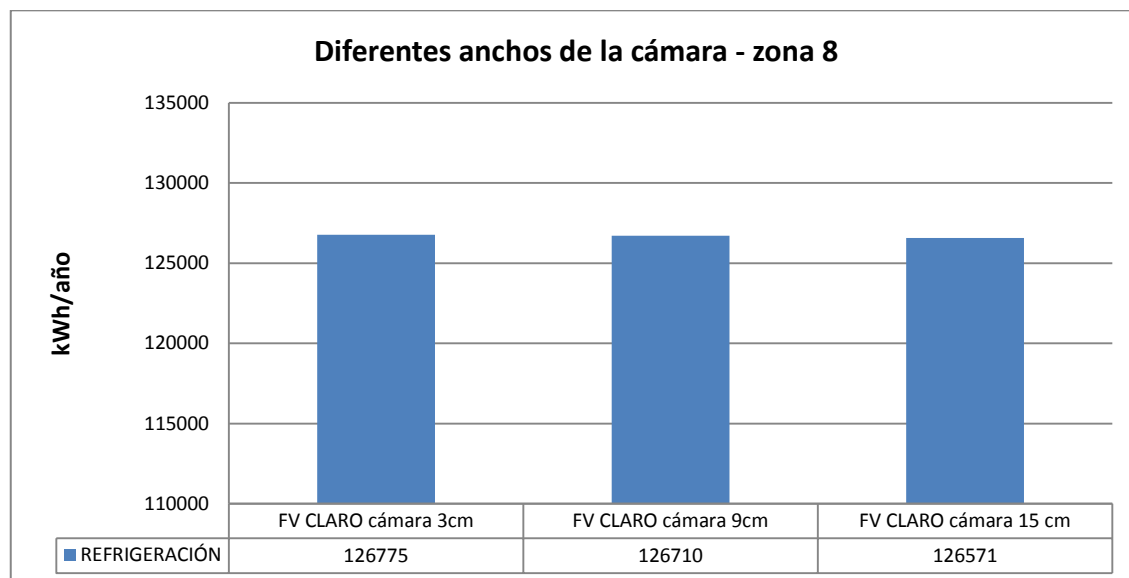
Con la intención de disminuir la demanda de refrigeración han sido probadas ventilaciones maximizadas, de 20 renovaciones por hora y de 40 renovaciones por hora. Los resultados siguen abajo. Hay una reducción de 0,78% en la demanda de refrigeración en el caso de 40 renovaciones. Lo que se concluye es que la cantidad de aire no hace mucha diferencia en el potencial de ahorro.



Gráfica 111. Demandas anuales con ventilación maximizada, fachada norte, Zona 8

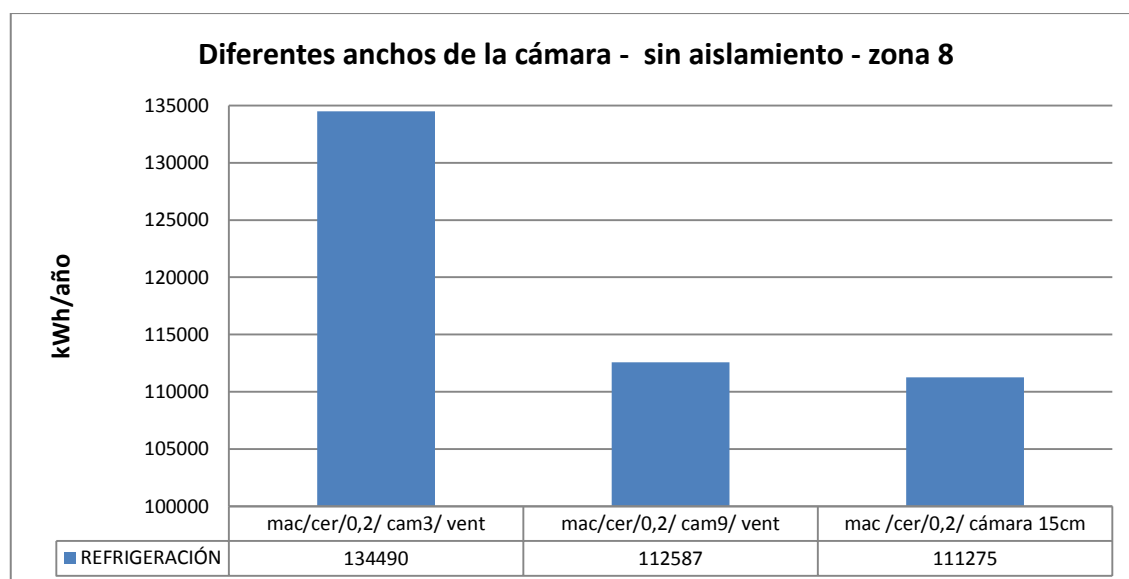
6.3.5 Cámara de aire

Las anchuras de la cámara de aire también han sido probadas con la fachada modelo y la fachada sin aislamiento térmico, los resultados de la zona 8 siguen a continuación.



Gráfica 112. Comparación de diferentes anchos de cámara de aire Fachada Modelo zona 8

Con la utilización de la fachada modelo con alto grado de aislamiento térmico, el ancho de la cámara no influencia en nada la demanda final. Ya en el cerramiento sin aislamiento las cámaras de 9 y 15 cm de ancho son las mejores disminuido la demanda en media 17%.

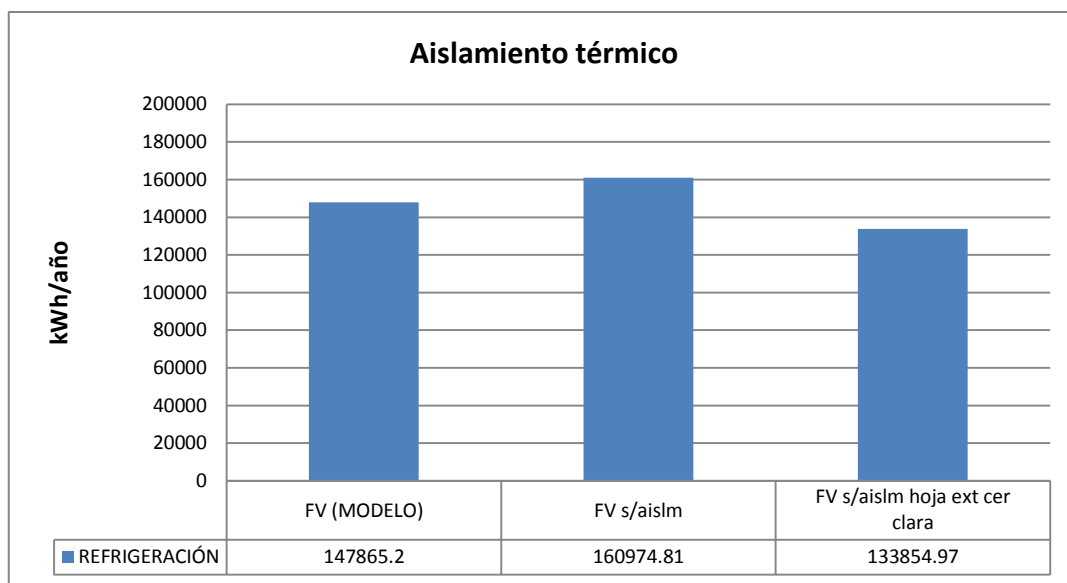


Gráfica 113. Comparación de diferentes anchos de cámara de aire – fachada sin aislamiento zona 8

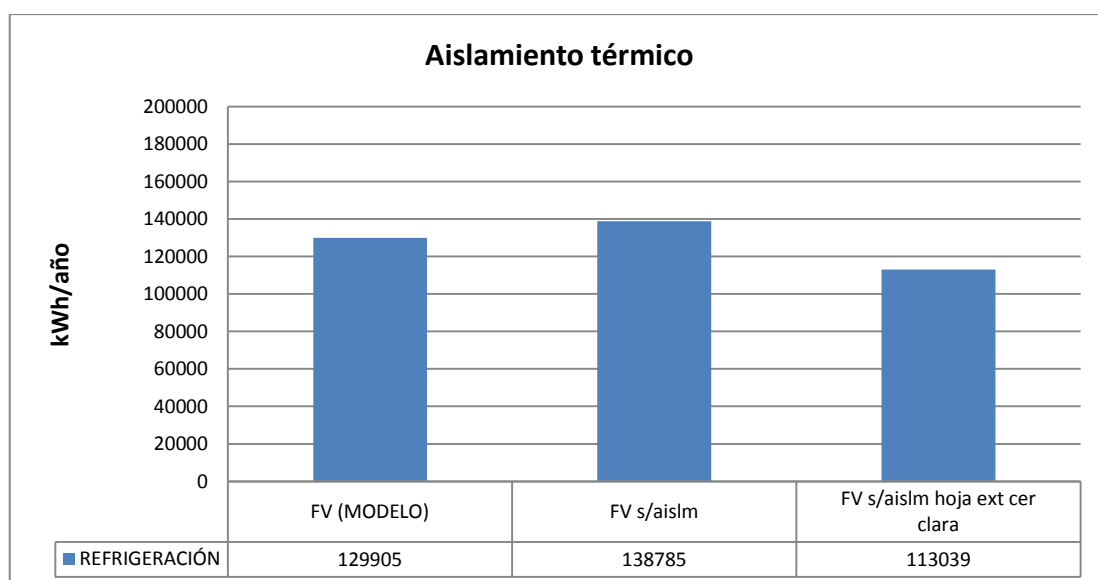
6.3.6 Aislamiento térmico

El aislamiento térmico ha sido probado una vez más para climas cálidos, pero en esta vez los climas no presentan estación fría.

En las dos zonas las menores demandas se dan con la fachada ventilada con hoja interior convencional, sin aislamiento térmico, hoja exterior cerámica y clara. En la zona 7 este cerramiento presenta una demanda de refrigeración 9,47% menor que la fachada ventilada modelo. En la zona 8 la reducción es de 13%.



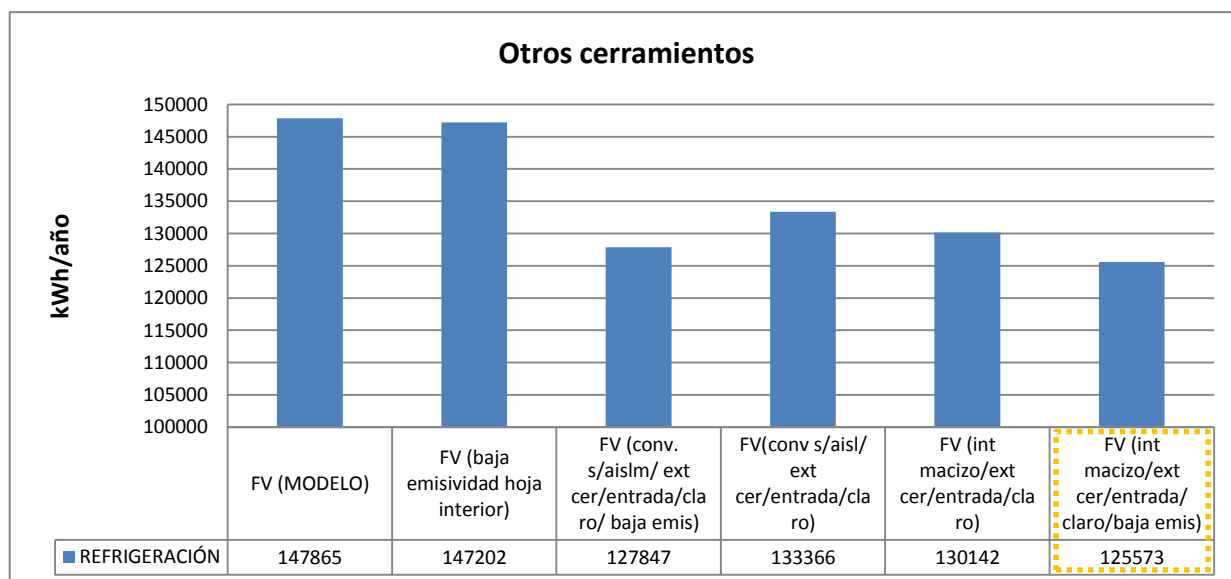
Gráfica 114. Comparación de las demandas energéticas anuales de la fachada con aislamiento térmico y sin aislamiento zona 7 (kWh/año)



Gráfica 115. Comparación de las demandas de la fachada con aislamiento térmico y sin aislamiento zona 8 (kWh/año)

6.3.7 Otros cambios

Como en las zonas anteriores, se ha probado otros tipos de cerramiento con el fin de buscar el mejor comportamiento de la fachada ventilada en las zonas 7 y 8.

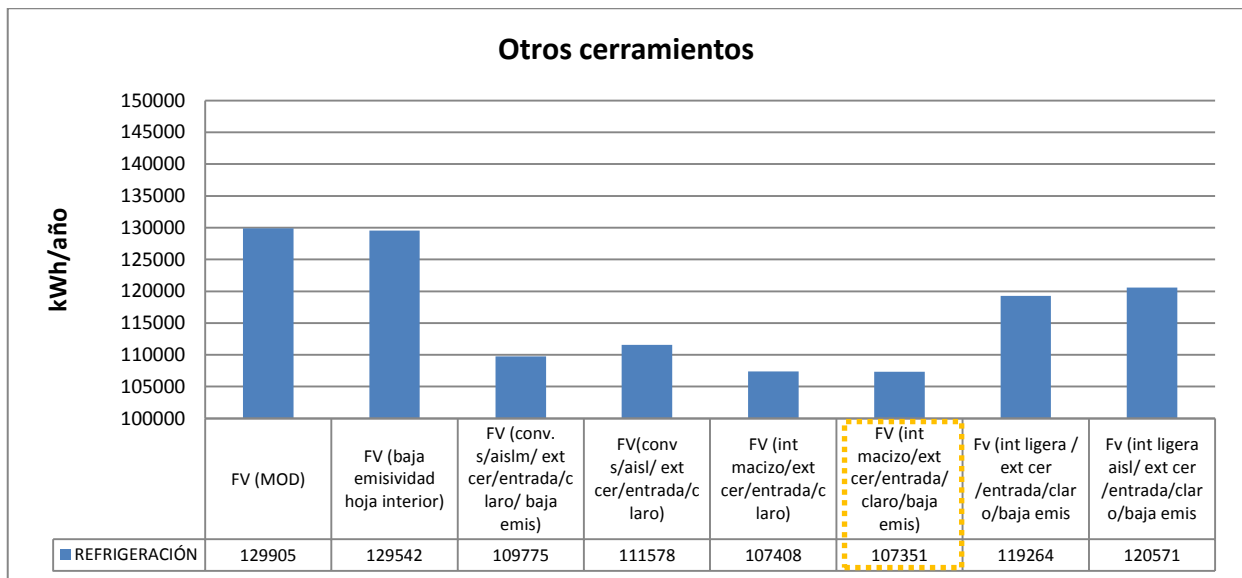


Gráfica 116. Demandas energéticas anuales de otros cerramientos (kWh/año) – zona 7 – mejor resultado apuntado en amarillo.

Los cerramientos probados han sido los mismos que en las zonas anteriores. En estas dos zonas el cerramiento con hoja interior maciza, hoja exterior cerámica clara, entrada y salida mayores y baja emisividad en la cámara ha sido el que ha presentado menor demanda energética. En la zona 7 hay un ahorro de 15,27% y en la zona 8, 17,36% frente al cerramiento modelo. Ha sido una suma de buenos resultados de color, ventilación y materiales.

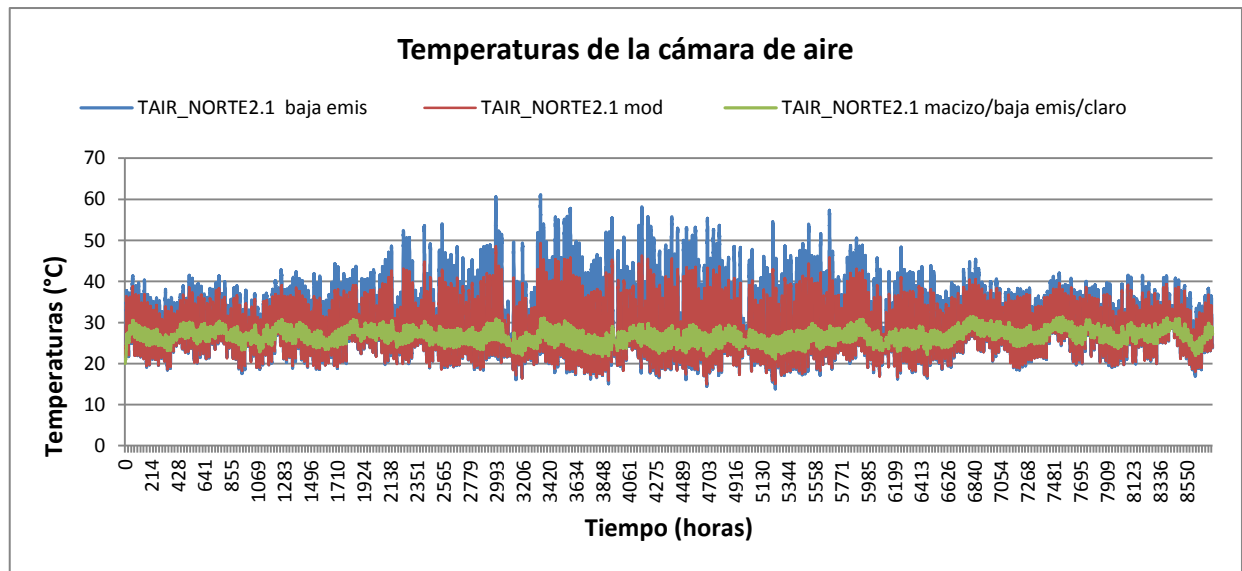
Se ha probado también dos cerramientos más ligeros en la zona 8, una vez que en los climas cálido-húmedos siempre se indica que las paredes sean ligeras. Sin embargo los resultados no han sido tan buenos cuanto da utilización del ladrillo macizo.

Han sido dos cerramiento ligeros: hoja interior en steelframe (OSB + aire + OSB), entrada y salida de aire mayores, hoja exterior cerámica clara y lámina bajo emisiva en la cámara; en el otro cerramiento se cambió el aire por aislamiento térmico de 10 cm. Las demandas resultantes han sido más altas.

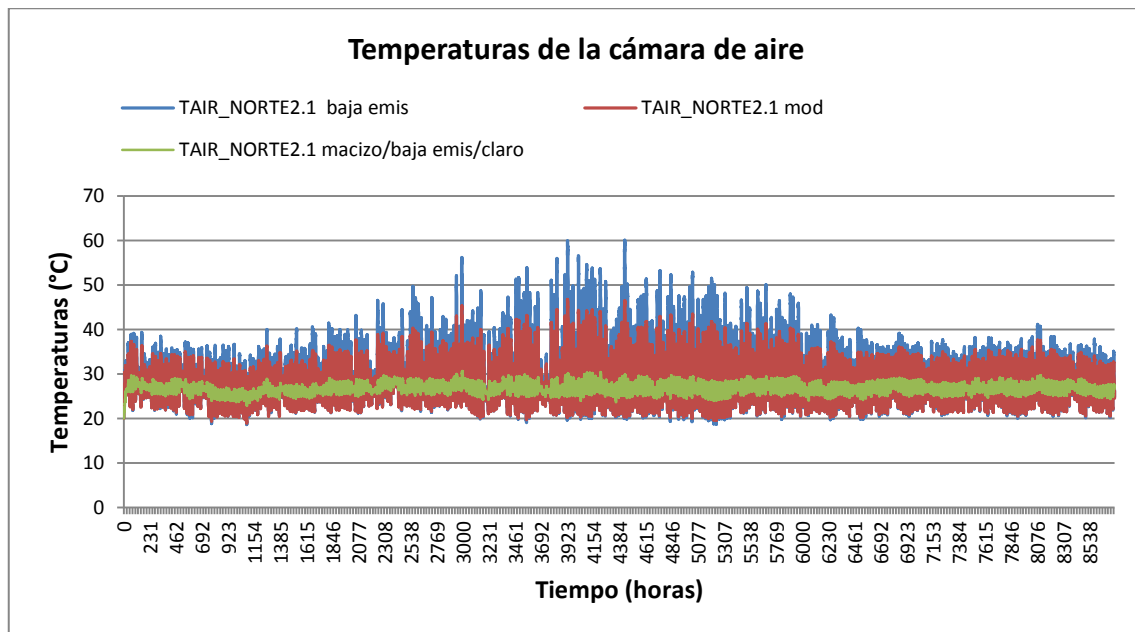


Gráfica 117. Demandas energéticas anuales de otros cerramientos – zona 8 - mejor resultado apuntado en amarillo

Comparando el perfil de temperaturas del cerramiento modelo, del que tiene baja emisividad en la cámara y del que presenta mejor comportamiento entre todos, las temperaturas en la cámara de este último cerramiento suben muy poco, la ventilación y el color claro ayudan que entre menos calor y que este se disipe. La diferencia entre las temperaturas es muy grande.



Gráfica 118. Comparación entre temperaturas de las cámaras de la fachada ventilada modelo, fachada modelo con baja emisividad en la cámara y fachada con hoja interior maciza, mayor grado de ventilación y baja emisividad en la cámara. Zona 7.

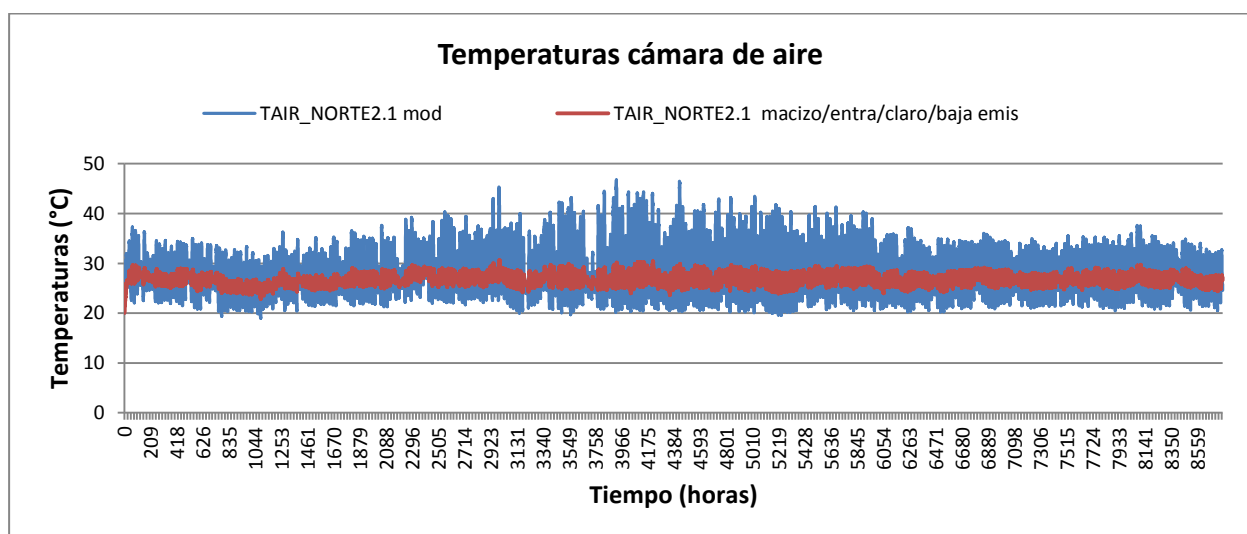


Gráfica 119. Comparación entre temperaturas de las cámaras de la fachada ventilada modelo, fachada modelo con baja emisividad en la cámara y fachada con hoja interior maciza, mayor grado de ventilación y baja emisividad en la cámara – zona 8.

La baja emisividad sólo se convierte en un elemento efectivo para la reducción de la demanda si junto a ella viene el alto grado de ventilación, el color claro y la hoja externa con más masa.

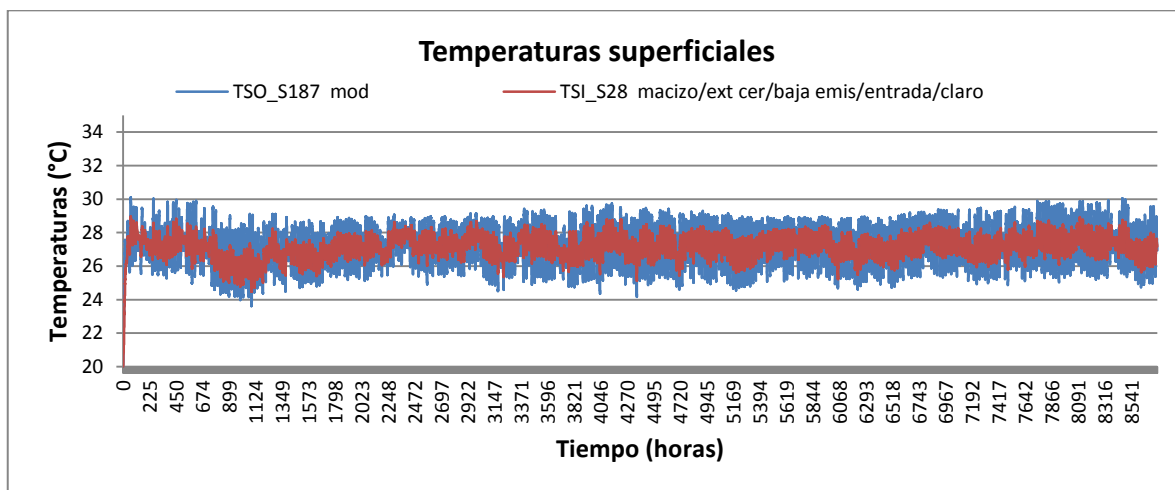
6.3.8 Análisis de las superficies

En este apartado se analizan las temperaturas del cerramiento modelo y del cerramiento con mejor comportamiento térmico. A continuación se ha elegido la zona 8 para este análisis y se presentan los resultados.



Gráfica 120. Diferencia entre las temperaturas de la cámara de aire del cerramiento modelo y el cerramiento con mejor comportamiento

A partir de la gráfica anterior se puede concluir que las temperaturas de la cámara son mucho menores cuando se utiliza el cerramiento con ladrillo macizo, entradas y salidas mayores, color claro, hoja exterior cerámica y baja emisividad, principalmente en los meses de junio, julio y agosto. Las temperaturas de esta cámara son muy estables.



Gráfica 121. Detalle de las temperaturas superficiales interiores del cerramiento modelo (TSO_S187 mod) y del cerramiento con mejor comportamiento (TSI_S28 macizo/ext cer/baja emis/entrada /claro) .

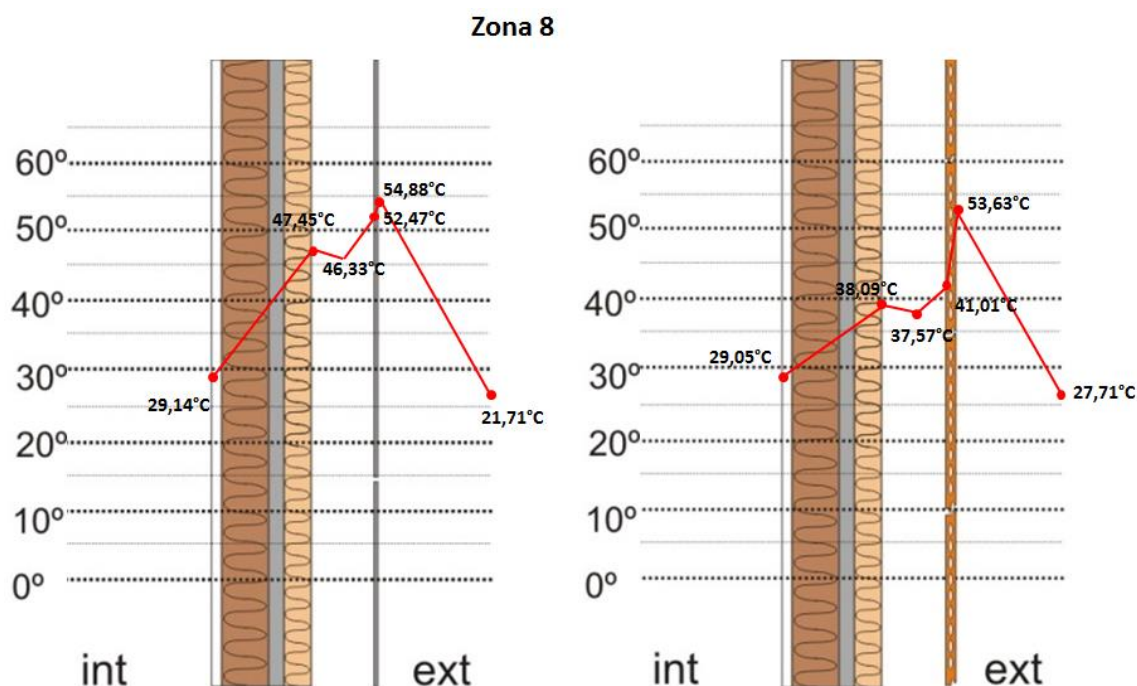


Fig. 166. Fluctuaciones de las temperaturas de la fachada modelo y de la fachada con hoja exterior cerámica en la misma hora de invierno, fachada norte.

En la figura anterior se observa la diferencia en el perfil de temperaturas cuando se cambia la hoja exterior, de aluminio para cerámica. Esta última tiene más inercia y

hace que la temperatura dentro de la cámara sea 8,76°C menor. La carga térmica a que se sujeta la pared interior es menor.

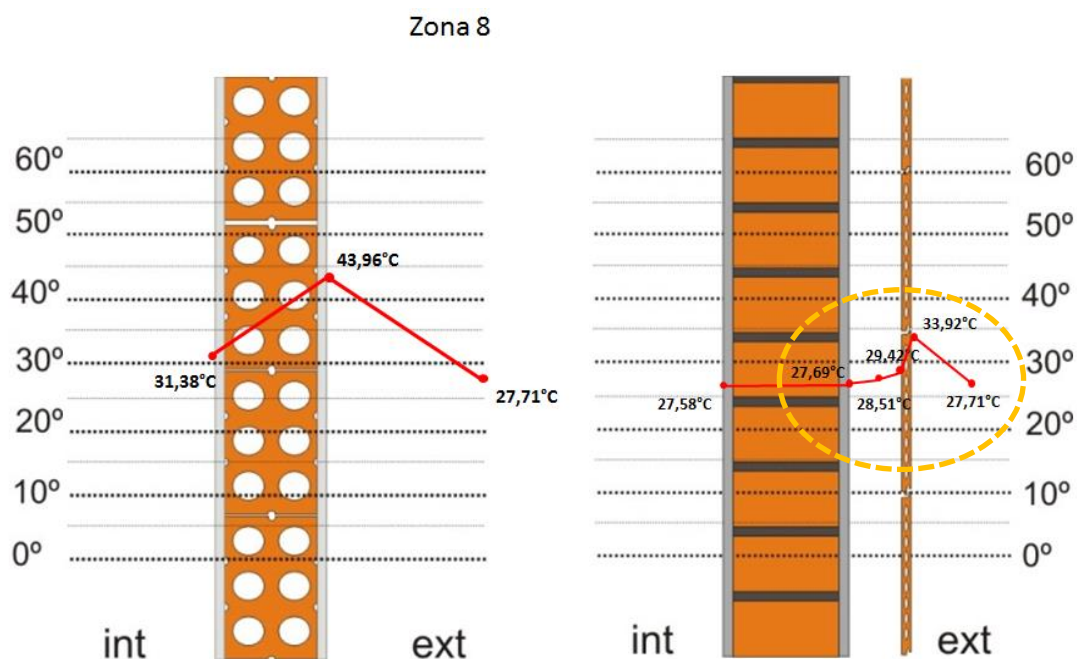


Fig. 167. Fluctuaciones de las temperaturas de la fachada convencional y de la fachada con mejor comportamiento, en la misma hora de invierno, fachada norte.

En la figura anterior están representados los perfiles de temperatura de los dos cerramientos: el que presenta mayor demanda (convencional – izquierda) y el que presenta mejor comportamiento (Hoja interior maciza, sin aislamiento, entradas y salidas mayores, lámina de baja emisividad en la cámara, hoja exterior cerámica clara – derecha). Las temperaturas superficiales internas son bastante diferentes y la fachada convencional presenta la temperatura 4°C mayor.

Es posible percibir que la temperatura de la cámara del cerramiento de la derecha es bastante baja si comparada a los cerramientos anteriores. En la cámara de aire la temperatura es 17,82°C menor que el cerramiento modelo.

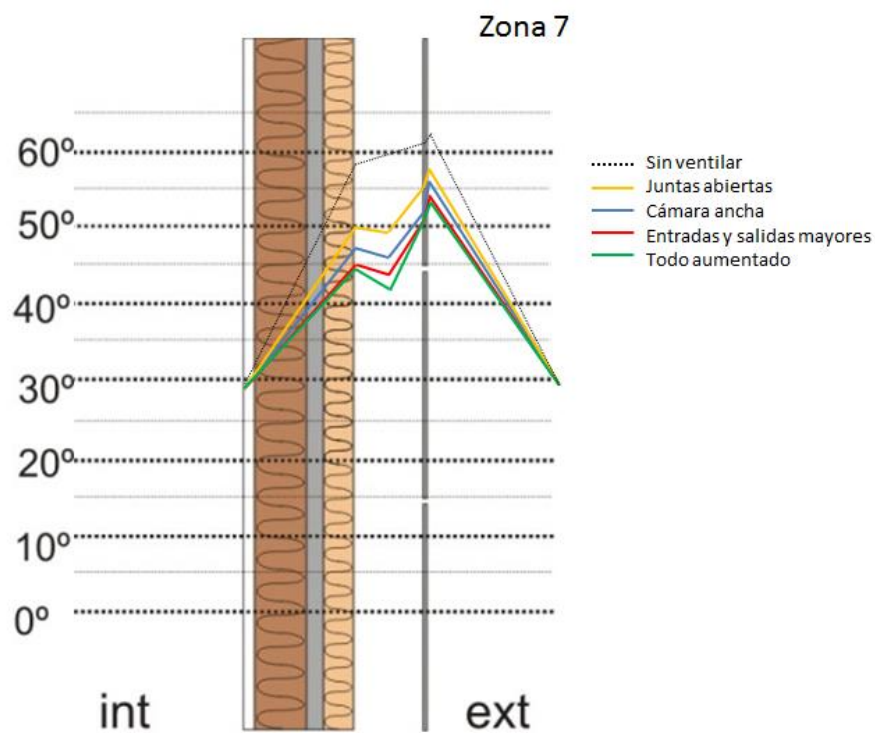


Fig. 168. Comparación entre distintos tipos de ventilación en la cámara en invierno. La cantidad de aire que pasa por la cámara afecta todas las temperaturas. Zona 7.

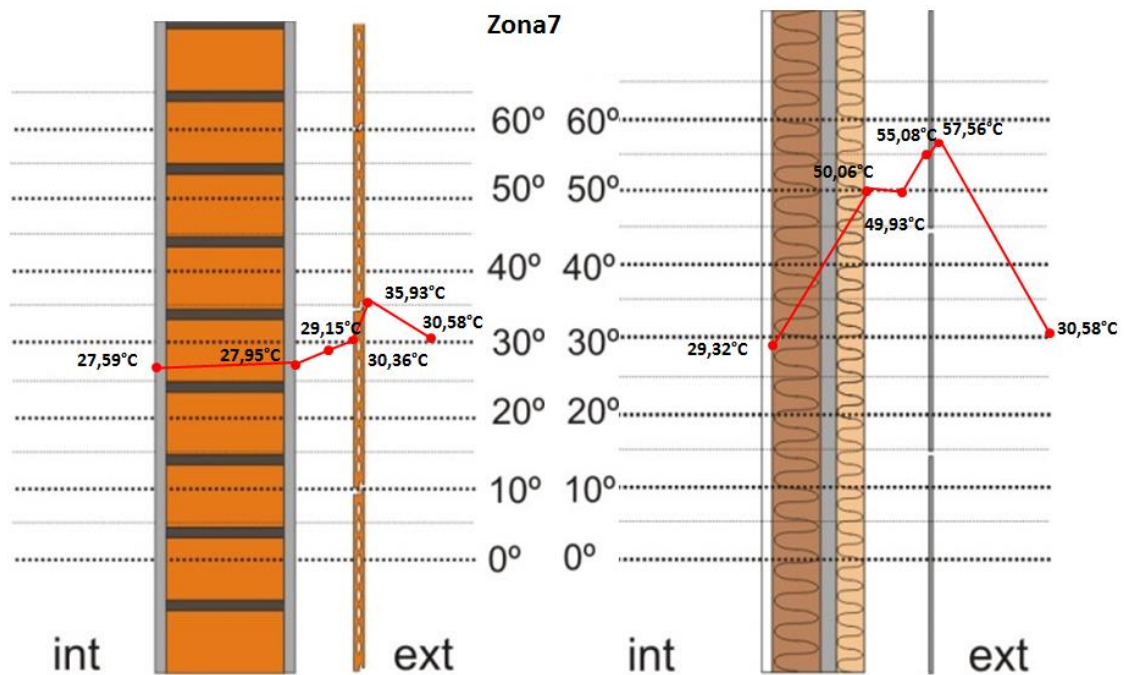
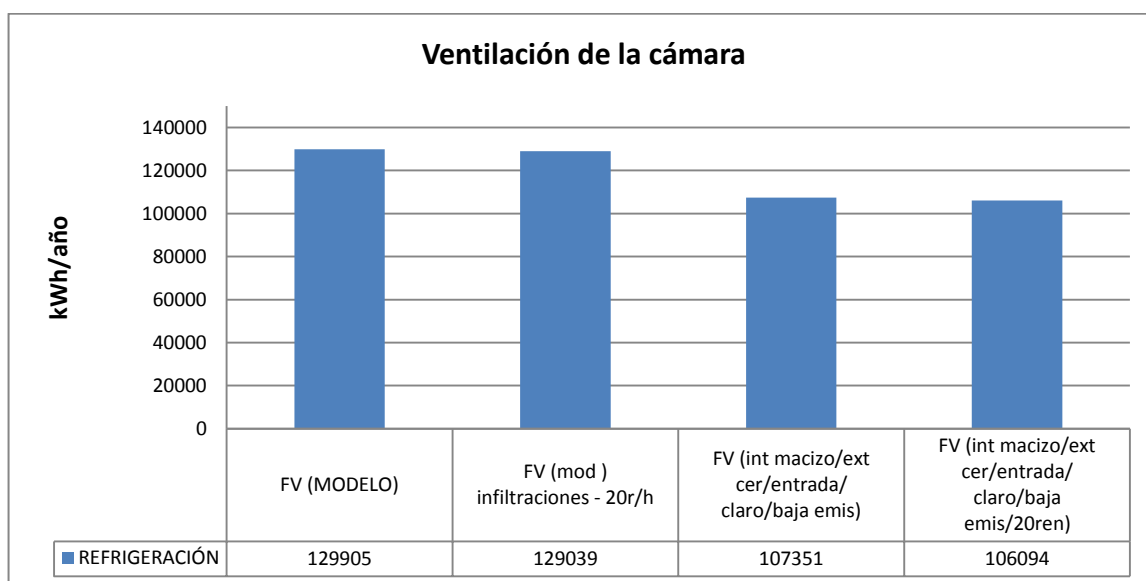


Fig. 169. Fluctuaciones de las temperaturas de la fachada con mejor comportamiento y de la fachada modelo, en la misma hora de invierno, fachada norte.

En la zona 7 la diferencia de temperaturas en la cámara puede llegar a los 20°C, entre el cerramiento modelo y el que presenta mejor comportamiento.

Por fin se ha aumentado la ventilación hasta 20 renovaciones por hora en el mejor cerramiento. El resultado es lo siguiente:



Gráfica 122. Comparación de distintas ventilaciones de la cámara de aire de la fachada modelo. Zona 8.

En comparación con el cerramiento modelo, el mejor cerramiento ofrece un 17,36% de ahorro y este mismo cerramiento con mayor ventilación ofrece un 18,32%. La diferencia es pequeña, casi 1%. Hay que analizar que para llegar a estas 20 renovaciones por hora sería necesario otras estrategias de ventilación, y posiblemente algo mecánico.

A continuación se comprueba una vez más el efecto chimenea de la fachada ventilada en la fachada norte en la zona 8.

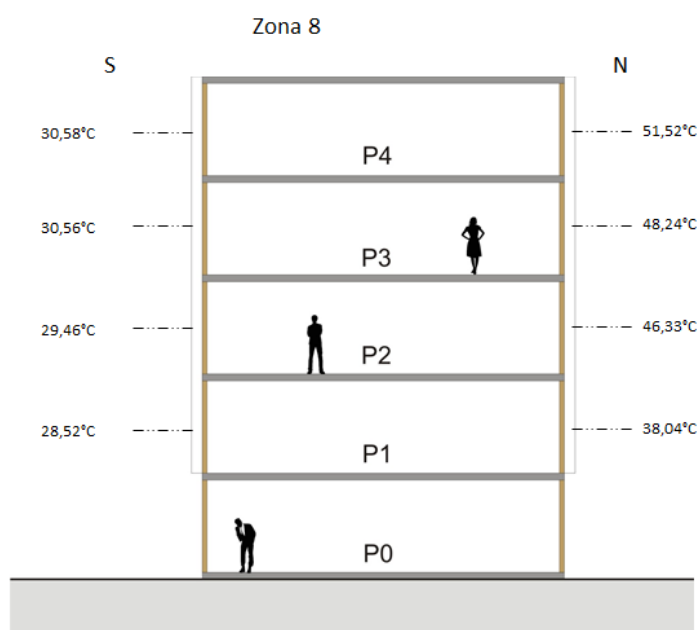


Fig 170. Efecto chimenea puede ser visto a través del aumento de las temperaturas en vertical, principalmente en la fachada norte.

6.3.9 Algunas conclusiones parciales

Las conclusiones para las zonas 7 y 8 son muy semejantes a las conclusiones de las zonas 4, 5 y 6 . En resumen:

- Las demandas de refrigeración son bastante altas, especialmente en la zona 7.
- La fachada ventilada modelo presenta buen comportamiento térmico si comparada a la convencional, pero las temperaturas de la cámara de aire son altas y en estas zonas no hay invierno, así que perjudica su comportamiento térmico.
- El color exterior claro mejora un poco el comportamiento térmico de la fachada, disminuyendo las demandas pues las temperaturas resultantes en la cámara se asemejan al cerramiento sin incidencia solar (fachada sur).
- La hoja exterior cerámica reduce de 0,76 a 0,86% la demanda de refrigeración.
- Cuanto más aire en la cámara, menores las temperaturas, sin embargo el poder de ahorro de la ventilación es muy limitado.
- Está bastante claro que la diferencia de temperatura en la cámara influencia el gasto energético. Ella debe ser lo más bajo posible.
- La baja emisividad sólo funciona junto a otras estrategias como color claro y ventilación abundante.
- El cerramiento con mejor comportamiento térmico en las dos zonas ha sido la fachada con hoja interior de ladrillo macizo, entradas y salidas mayores, hoja exterior cerámica clara y con baja emisividad en la cámara de aire.
- La diferencia entre una fachada con emisividad normal (12% de ahorro) y con emisividad baja (15% de ahorro) es pequeña, pero no se puede olvidar.
- Aumentando la cantidad de aire que circula por la cámara (de 10 para 20 renovaciones por hora) se consigue ahorrar un 1% en refrigeración, pero esta situación necesitaría un aporte de ventilación mecánica.
- La suma de factores, o mejor, de características trae una mejor utilización de la fachada ventilada en estas zonas.
- Cuando el aislamiento térmico es grande, como el caso del modelo, aumentar o disminuir el ancho de la cámara no modifica en nada las condiciones en el interior del edificio. Sin embargo si no hay aislamiento la cámara estrecha (3cm) presenta la mayor demanda, comparada a 9cm del modelo y 15 cm.

CONCLUSIÓN

El tema de la importación de tecnologías no es nuevo, tampoco está lejos de terminar. En un mundo capitalista y globalizado las tendencias se multiplican, nacen hoy y mañana ya están en todo el mundo.

La fachada ventilada, que primero fue *rain screen* en Reino Unido, tenía la función muy importante de alejar la humedad de la pared interior. En países mediterráneos no obstante ha ganado la función de bloquear la radiación solar y así disminuir las ganancias térmicas en verano. Pero en muchos casos ha sido descubierto que en climas mediterráneos más fríos no vale la pena el ahorro en verano, pues se gastará más energía en invierno por cuenta de la ventilación de la cámara de aire.

En el País Vasco una investigación realizada por el Área Térmica del Laboratorio de Control de Calidad en la Edificación del Gobierno Vasco (2013) ha llegado a conclusión que es mejor utilizar la fachada sin ventilación en esta provincia, una vez que la demanda de calefacción en invierno es más importante que la demanda de frío

en verano. Las ventajas obtenidas con la fachada ventilada en verano son menores que las obtenidas en invierno con la opción estanca. Las calidades de la ventilación de las fachadas empiezan a ser cuestionadas en los climas del Mediterráneo.

Cuando se importan técnicas o lenguajes arquitectónicos novedosos, hay que reflexionar sobre el asunto, como hicieron los arquitectos modernos brasileños en principios del siglo XX. No simplemente compraron las ideas modernistas sino que las reelaboraron, reinventaron y crearon así un lenguaje moderno brasileño, muy relacionado con el clima y con la arquitectura tradicional.

“ Com base nos princípios corbusianos os cariocas souberam desenvolver o discurso moderno, segundo uma linguagem local baseada na leveza, sinuosidade e vinculação ao clima, conseguindo se impor no panorama internacional com a recriação da linguagem moderna no ambiente tropical”. (CAMARGO, 2000, p.55 apud ZUFFO, 2009)

*“ **É preciso estudar o que se fez e o que está se fazendo no exterior e resolver os nossos casos sobre estética da cidade com alma brasileira.** Pelo nosso clima, pela nossa natureza e costumes, as nossas cidades devem ter caráter diferente da Europa.” (LEVI, 1987, pp.21-22 apud SEGAWA, 1998, p.44.subrayado nuestro)*

Pues así este trabajo ha sido realizado, intentando rodear los límites de la fachada ventilada en un clima nuevo. Circunscribir los límites de su utilización en tierras tropicales.

A partir de un trabajo intenso de simulación ha sido posible entender el funcionamiento térmico de todo el sistema. Sistema porque al final la fachada ventilada es un sistema de cerramiento que envuelve varios materiales y formas de transmisión de calor. Por ese motivo es difícil calificarlo y cuantificar sus beneficios. Su diseño es de fundamental importancia para un buen resultado térmico.

Por ser una tecnología nueva en Brasil esta es la hora de hablar de cómo diseñarla. Lo que se quiere es valorar el elemento constructivo y no simplemente sustituir una antigua tecnología por una nueva, sin reflexionar.

Muchos aspectos importantes han sido comprendidos durante el desarrollo de la tesis y cada parte del cerramiento, o mejor, el papel de cada capa componente del cerramiento ha sido entendido. Las partes han sido probadas una a una y en conjunto para acabar de entender la utilización de fachadas ventiladas en climas tropicales y subtropicales.

Hoja exterior, cámara de aire, aislamiento térmico y hoja interior han sido las capas estudiadas. Dentro de estas capas están: las juntas, las aperturas inferiores y superiores, espesores, colores, emisividades y materiales.

Tres miradas diferentes han sido estudiadas: las investigaciones académicas sobre el tema, las empresas productoras y los edificios construidos. A partir de este estudio han sido trazadas las estrategias para aprovechar al máximo las simulaciones. Las tres miradas han sido fundamentales para el entendimiento del estado de arte total sobre la fachada ventilada, desde la teoría hasta la práctica. Han contribuido mucho para la conformación de la investigación.

La opción por simulación térmica se ha elegido porque ya había un modelo validado experimentalmente realizado en la Universitat Politècnica de Valencia y sería la oportunidad de dar un paso más allá en dirección al entendimiento del funcionamiento de la fachada ventilada. Como en Brasil hay muy pocas fachadas ventiladas disponibles, hacer medición en el país sería inviable.

El modelo validado experimentalmente ha sido utilizado para seguir esta investigación, cambiando el hemisferio, los archivos climáticos y adaptando las condiciones de simulación a la realidad brasileña. Las simulaciones han sido llevadas a cabo en el software Trnsys®.

La fachada ventilada modelo ha sido probada en las ocho zonas climáticas de Brasil y los resultados han sido confrontados primeramente con la fachada convencional brasileña (ladrillo simple revocado). Posteriormente varias simulaciones han sido realizadas intentando entender cómo funcionaban en estas zonas climáticas. En los análisis, las zonas han sido divididas en tres grupos: las zonas que presentan invierno, las que tienen clima predominantemente cálido y las que sólo tienen clima cálido.

Los resultados de las reflexiones sobre los análisis de los resultados están a continuación.

De modo general, el efecto chimenea ha sido percibido en las fachadas donde hay incidencia solar, es decir, al norte principalmente en invierno y un poco menos en sur en verano, en todas las zonas .

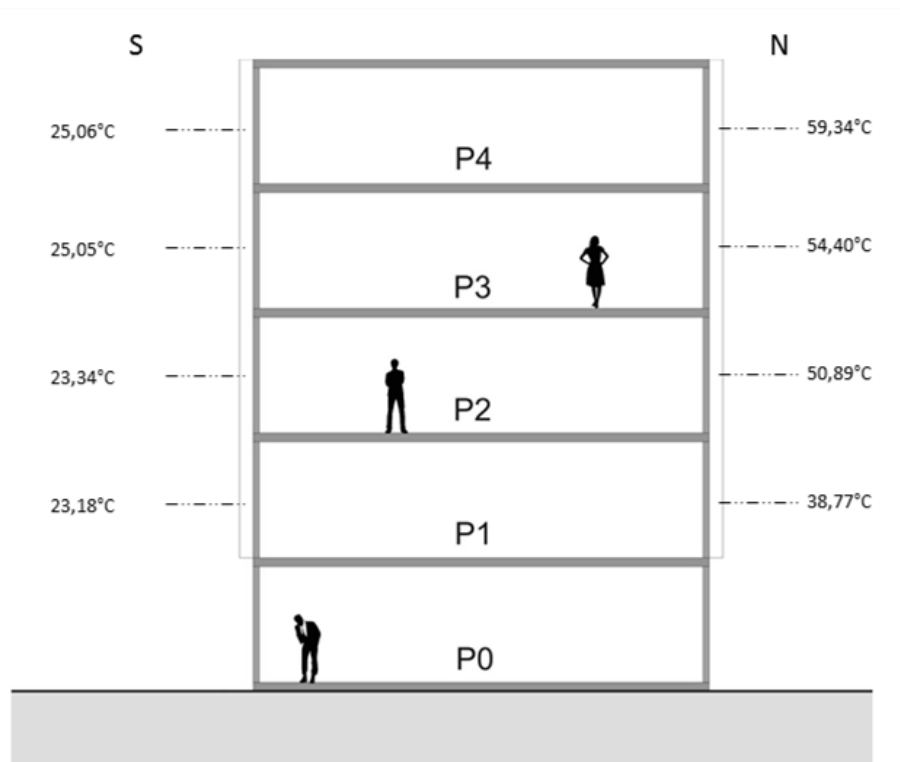


Fig. 171 Perfil de las temperaturas de la cámara de aire, en invierno, en la zona 1 con la fachada ventilada modelo – efecto chimenea, principalmente en la fachada norte (mayor incidencia de radiación solar)

Las temperaturas en la cámara de aire pueden ser realmente altas (principalmente cuando el color de la hoja exterior es oscuro y el material ligero), llegando a los 70°C (zona 1). Este factor para climas fríos como Curitiba es positivo, pero para los más cálidos (principalmente en las zonas 7 y 8) es un problema que genera sobrecalentamiento en los ambientes.

Si hay la presencia de aislamiento térmico de espesor mayor que 5cm, no hace diferencia el ancho de la cámara de aire (como atestanan los análisis realizados en zonas 1, 2 y 3), pero si no hay aislamiento (caso estudiado en las zonas 4, 5, 6, 7 y 8), la cámara debe tener entre 10 e 15cm de ancho (como atestanan también otras investigaciones: Balocco, 2004; Ciampi, Leccese, Tuoni, 2003; Marinosci, Semprini, Morini, 2014). El color y el material tampoco tienen importancia cuando hay aislamiento térmico de gran espesor. Estos factores cambian muy poco las demandas del edificio en esta situación (análisis de las zonas 1, 2 y 3, en el apartado de color y material de la hoja exterior).

El color es indiferente si no hay radiación solar incidente, esto ha sido verificado en todas las zonas. Luego, en la fachada sur (ciudades de latitudes mayores que 12°) hay total libertad para utilización de los colores. En esta fachada también no hace falta utilización de fachada ventilada pues cuando el sol no incide sobre el cerramiento no

hay diferencia entre una fachada con y sin ventilación (gráficas 29, 30, 70, 71, 72, 98 y 99 donde se enseñan las temperaturas de la fachada sur).

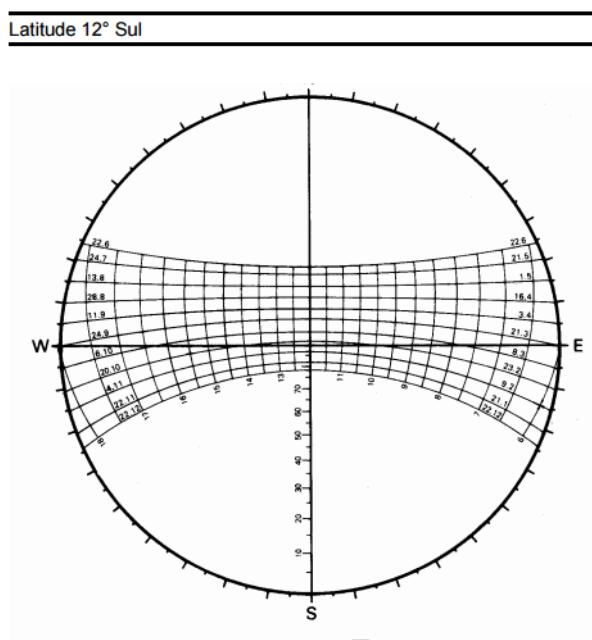


Fig. 172 Carta Solar para latitud 12° Sur. Incidencia solar pequeña en la fachada sur. Latitudes mayores que esta pueden utilizar cualquier color en la fachada ventilada Sur. Fuente: Frota, Schiffer, 2001)

En la fachada norte y oeste de las zonas 4, 5, 6, 7 y 8 es necesario ventilación en la cámara, así las entradas y salidas deben estar desobstruidas, si es posible sin rejillas (como también comprueban Marinosci, Semprini y Morini, 2014). No es necesario que las juntas sean abiertas (ejemplo en las gráficas 74, 75 y 76).

En todas las simulaciones la hoja interior con más inercia ha presentado mejores resultados, es decir, el consumo energético ha sido menor y las temperaturas superficiales también. Esto se debe a gran amplitud térmica (zona 1, 2, 3 y 4) de algunos climas y en otros la inercia térmica atenúa las altas temperaturas de la cámara de aire (zonas 5, 6, 7 y 8).

En los climas que presentan invierno (zonas 1, 2 y 3) la fachada ventilada modelo presentó buen comportamiento térmico, reduciendo la demanda energética. La presencia de aislamiento térmico se mostró muy eficiente en estos climas reduciendo hasta un 27,46% (zona 1), 28,52% (zona 2), 24,80% (zona 3) los gastos energéticos en comparación con la fachada convencional.

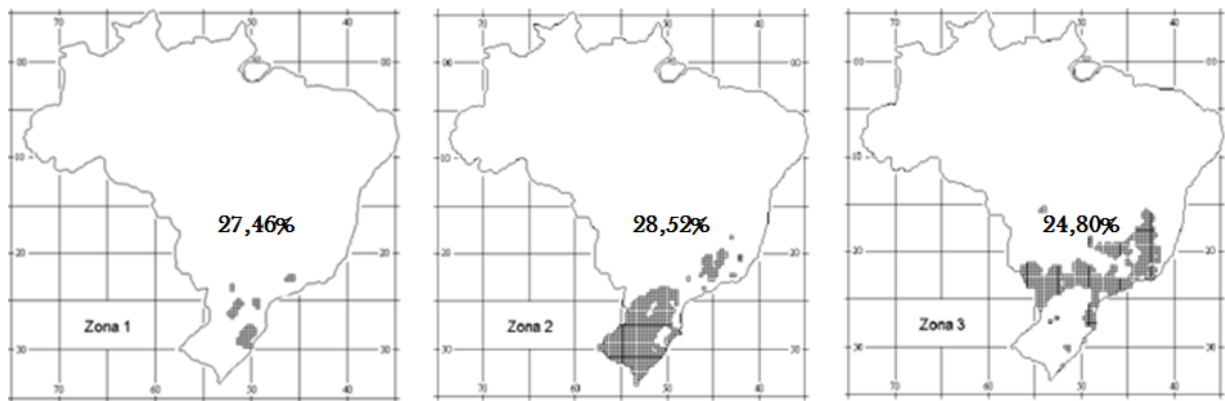


Fig. 173 Ahorro energético del cerramiento modelo en comparación a la fachada convencional de Brasil.
(Zonas en color oscuro)

Otra situación simulada ha sido el edificio sin la presencia de calefacción, ya que en Brasil este tipo de acondicionamiento no es común. Las temperaturas superficiales han sido evaluadas y se ha llegado a la conclusión que en los climas que tienen invierno, la fachada ventilada modelo, con aislamiento térmico resulta en temperaturas ambientales y superficiales mayores, convirtiendo el ambiente interior en condiciones de confort mejores (gráfica 53 de la zona 1).

A través de las simulaciones con distintos materiales y situaciones se ha conseguido llegar al menor valor en demanda energética para las zonas 1, 2 y 3 con una fachada sin ventilación. La hoja interior en ladrillo macizo (inercia térmica) con aislamiento térmico de 5cm por el exterior, cámara de aire de 9 cm (como el modelo), y hoja exterior cerámica de color oscuro ($\alpha = 0,6$). Esta es la configuración que ha conseguido el menor gasto energético y la mejor situación de confort interior cuando no hay acondicionamiento artificial.

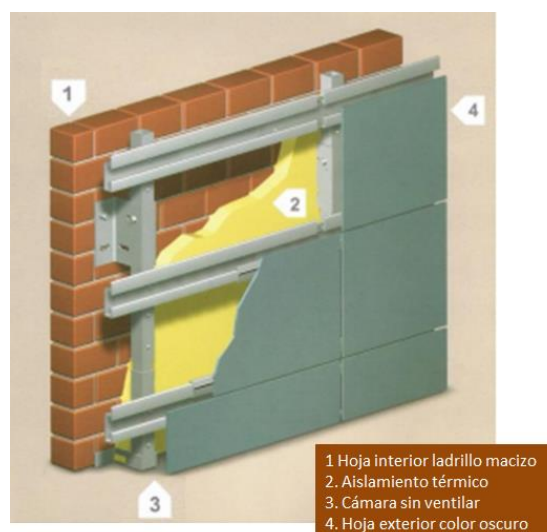


Fig. 174. Modelo de fachada ideal para las zonas 1, 2 y 3.
Fuente: <https://engenhariacivil.files.wordpress.com/2008/01/fachada2.jpg>

Sin embargo todos los resultados fueron muy semejantes, hubo un ahorro máximo de 4,5% con relación a la fachada modelo. Esto demuestra la importancia del aislamiento térmico, casi despreciando todos los materiales que vienen después de la cámara de aire.

Así para estas tres zonas la fachada ventilada trae beneficios en invierno, situación bastante distinta de Europa, pues los edificios ahí, ya cuentan con aislamiento térmico. En Brasil lo más importante es la ruptura de puentes térmicos y la disminución de la humedad, que en ciudades como Curitiba (zona 1) es un gran problema.

Por otro lado en las zonas 4, 5 y 6 ha sido comprendido que en climas predominantemente cálidos la fachada ventilada con aislamiento térmico no demuestra tan buen comportamiento. Lo que pasa es que las temperaturas de la cámara suben mucho y la presencia de aislamiento hace que no se disipen (figuras 160 y 161). Otro punto importante es que en Brasil como señalan Roriz, Chvatal y Cavalcanti (2009) envolventes bien aisladas, con sombreado insuficiente tienen una tendencia a mayor discomfort en todos los aspectos (duración, sobrecalentamiento máximo, etc.). En su tesis doctoral Chvatal (2007) apunta que en climas poco fríos o cálidos, principalmente en edificios de oficinas y de servicio hay gran generación de energía interna por los equipos, personas e iluminación y el periodo en el cual ellos ocurren coincide con las mayores ganancias solares, lo que agrava la situación en verano. El aislamiento térmico atrapa el calor en el ambiente aumentando la sensación de discomfort y haciendo con que las demandas de refrigeración aumenten. Lo que se ha percibido en esta tesis es que con el modelo de simulación, las demandas son más altas en los climas más cálidos, si son comparados a los cerramientos sin aislamiento térmico.

Resultados similares han sido encontrados en investigación realizada en el clima cálido seco de Botswana, en África, por Masoso e Grobler (2008). Por medio de simulación en el programa EnergyPlus®, un edificio comercial, con altas ganancias internas y acondicionado artificialmente ha sido estudiado. Los resultados indicaron que, para temperaturas de control sobre los 25,72°C, se obtiene el mayor gasto energético para refrigeración cuando se aumenta el aislamiento térmico de las paredes.

También en Brasil el tema despierta interés en los investigadores. En su tesina de máster Melo (2007) ha analizado la influencia de la transmitancia y de la capacidad térmica sobre el consumo anual de energía de dos tipologías de edificios comerciales, en tres ciudades distintas: Florianópolis (SC) – zona climática 3, Curitiba (PR)- zona climática 1 e São Luís (MA)- zona climática 8. Confirmando otros autores, esta

investigación ha identificado situaciones en que cerramientos de mayor transmitancia se presentan más económicos.

Así para estas tres zonas es preferible no utilizar aislamiento térmico. Entonces las características de cada una de las capas vuelven a tener importancia en el resultado final. Un factor importante a subrayar es que se ha observado que solos, el color, el material, el ancho de la cámara, las entradas y salidas de aire no bajan efectivamente las demandas, pero combinados traen efectos muy positivos para la disminución de las demandas de frío (en estas zonas solo se han analizado las demandas de refrigeración, una vez que la demanda de calefacción es muy baja o inexistente).

El ahorro energético máximo utilizándose la fachada modelo con aislamiento térmico es de 18,75%, en comparación al cerramiento convencional. Sin embargo, utilizándose de la mejor fachada simulada (hoja interior maciza, entradas y salidas grandes, hoja exterior cerámica clara y baja emisividad en la cámara de aire), sin aislamiento, el ahorro puede llegar a un 37% (zona 4) , 50% (zona 5) y 36% (zona 6). Esto quiere decir que hay que adaptar la nueva tecnología a las necesidades de los nuevos climas.

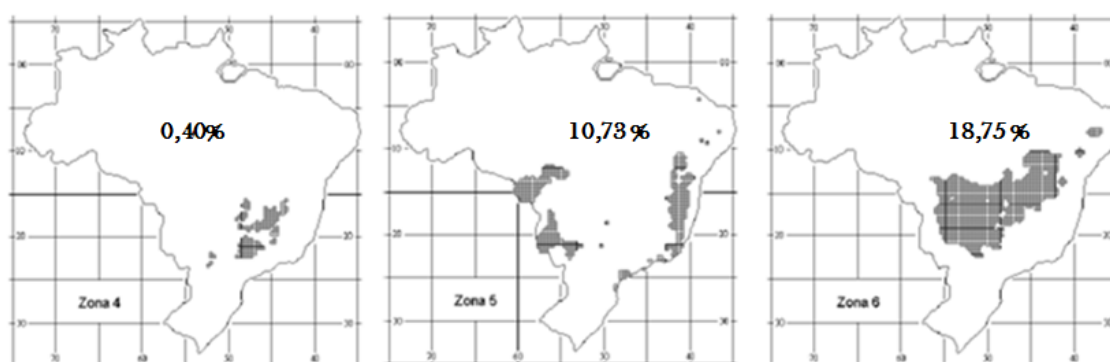


Fig.175 Ahorro energético de la fachada modelo comparada al cerramiento convencional (Zonas en color más oscuro)

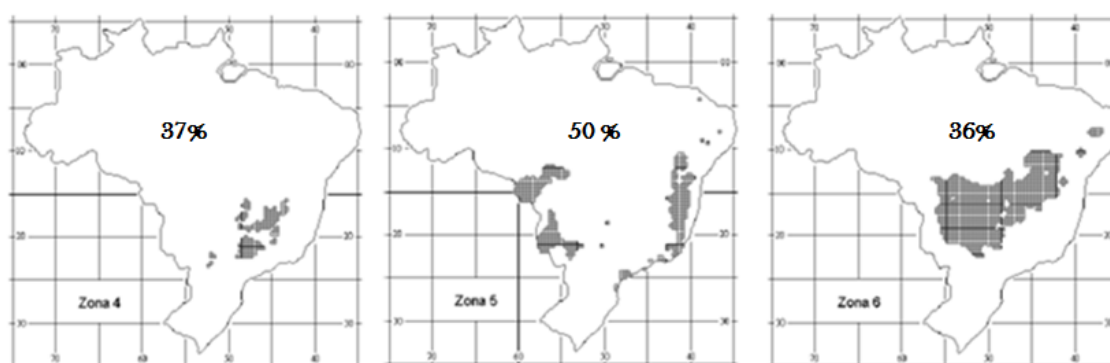
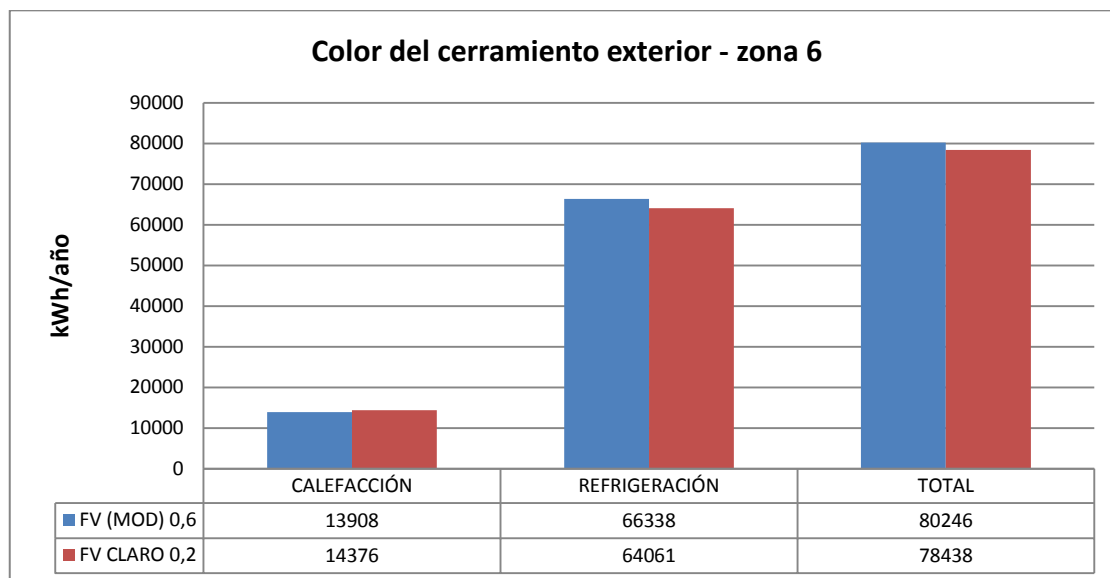


Fig. 176 Ahorro energético de la mejor fachada simulada comparada al cerramiento convencional (Zonas en color oscuro)

El color claro exterior, con baja absortividad, presenta mejor comportamiento en estas zonas. Presenta comportamiento semejante al de las fachadas no soleadas, que es un punto muy positivo porque el objetivo es reducir la entrada de calor. Sin embargo, como en las zonas 1, 2 y 3 el color es indiferente si no hay incidencia de radiación solar (fachada sur).



Gráfica 123. Diferencias en el color del cerramiento exterior de la zona 6

La hoja exterior con más masa (cerámica) reduce la demanda de refrigeración en todas las zonas. Sin embargo la reducción es menor que la debida al color del cerramiento exterior. Si se utilizan las dos estrategias juntas los resultados son mejores (ver subcapítulos otros cambios p191, 215 y 239).

La cámara de aire, en estos tres casos debe permitir el paso del aire en su interior. Está claro que cuanto más ventilación, mejor, pero de hecho en una cámara de 15 cm, como máximo, no hay posibilidad de haber velocidad de viento suficiente (como atesta la investigación de Stazi et al, 2011). Así lo que es posible hacer es dejar entradas y salidas desobstruidas y la cámara lo más ancha posible (que depende del sistema de anclaje). Entre las mayores aperturas (entradas y salidas) o la situación dónde se ha aumentado todo (ancho de la cámara, juntas y aperturas) no hay grandes diferencias en los resultados encontrados, así se puede elegir por lo más sencillo, aumentar las aperturas de entradas y salidas de aire . La ventilación *per se* tiene poco efecto en las demandas. No obstante junto a otras estrategias como color y material presenta buenos resultados.

Una idea inicial era probar introducir en la cámara de aire un material de baja emisividad, una capa de aluminio, como se hace en las cubiertas (ver capítulo sobre

barreras radiantes). Desafortunadamente, sola esta estrategia no ha mostrado resultados positivos, ella necesita de mayor movimiento de aire para disipar el calor.

El mejor cerramiento para la zona 4 ha sido el que presenta la hoja interior maciza, la hoja exterior cerámica clara y entradas y salidas de aire mayores, este es un clima con alta amplitud térmica y necesita de inercia. Ya en las zonas 5 y 6, lo más efectivo ha sido el cerramiento igual que el 4 pero añadiendo una lámina de baja emisividad en la cámara. Esto se debe a las temperaturas más altas de estos climas y el material de baja emisividad consigue bloquear parte del calor entrante.

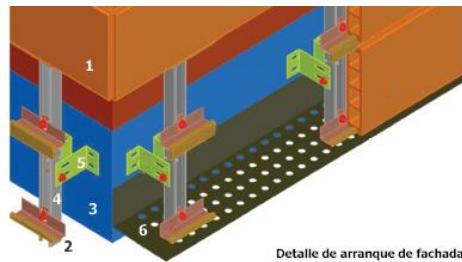


Fig. 177 Ejemplo de entrada de aire con rejilla



Fig.178 Fachada ventilada sin aislamiento térmico. Fuente: <http://www.ceramica-lapaloma.com/>

En las zonas 7 y 8 las demandas de refrigeración son bastante altas, especialmente en la zona 7. La fachada ventilada modelo tampoco presenta el mejor comportamiento térmico, pero comparada a fachada convencional presenta un ahorro de 22,12 % en refrigeración.

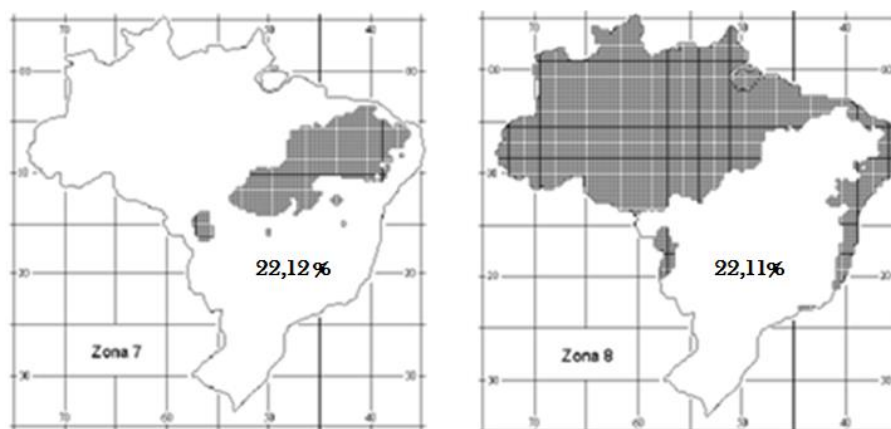
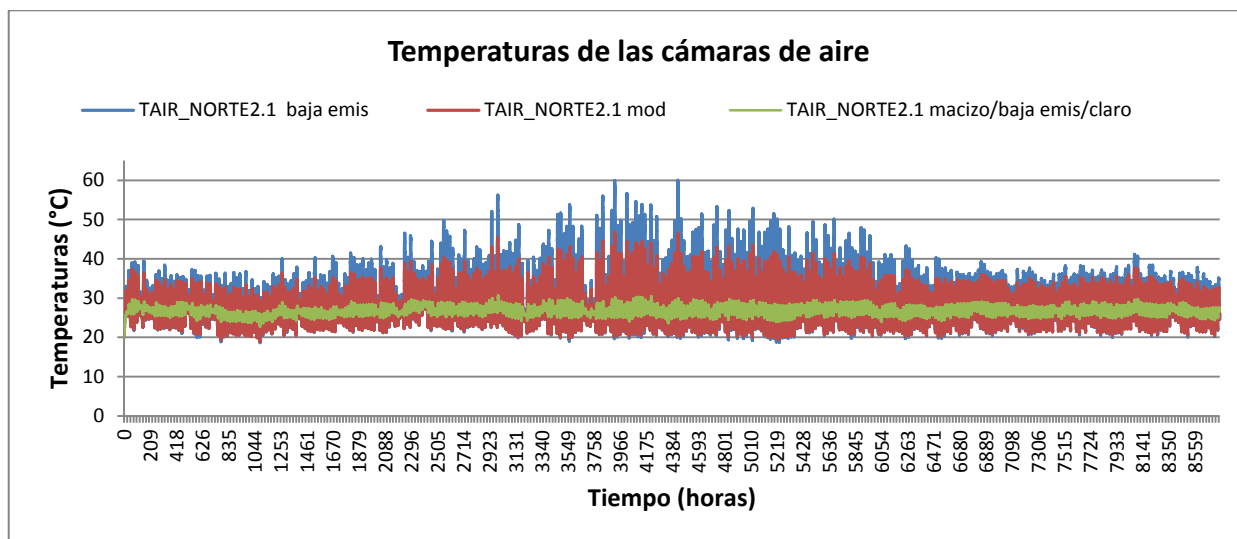


Fig. 179 Ahorro energético del cerramiento modelo en comparación al cerramiento convencional (Zonas en color oscuro)

Las estrategias de material, color y cámara de aire de las zonas 4, 5 y 6 también se aplican a estas dos zonas. El color exterior claro mejora el comportamiento térmico de la fachada, disminuyendo las demandas pues las temperaturas resultantes en la cámara se asemejan al cerramiento sin incidencia solar (fachada sur). La hoja exterior cerámica reduce de 0,76 a 0,86% la demanda de refrigeración. Cuanto más aire en la cámara, menores las temperaturas, sin embargo el poder de ahorro de la ventilación es muy limitado. Está bastante claro que la temperatura de la cámara influencia el gasto energético. Ella debe ser lo más bajo posible en las zonas cálidas.



Gráfica 124. Ejemplos de temperaturas de las cámaras de aire: la demanda mayor se da para las temperaturas mayores

El cerramiento con mejor comportamiento térmico en las dos zonas ha sido la fachada con hoja interior de ladrillo macizo, entradas y salidas mayores, hoja exterior cerámica clara y con baja emisividad en la cámara de aire, igual que en las zonas 5 y 6.

Con este cerramiento el ahorro con relación a la fachada convencional es de 33,85% (zona 7) y 35,63% (zona 8).

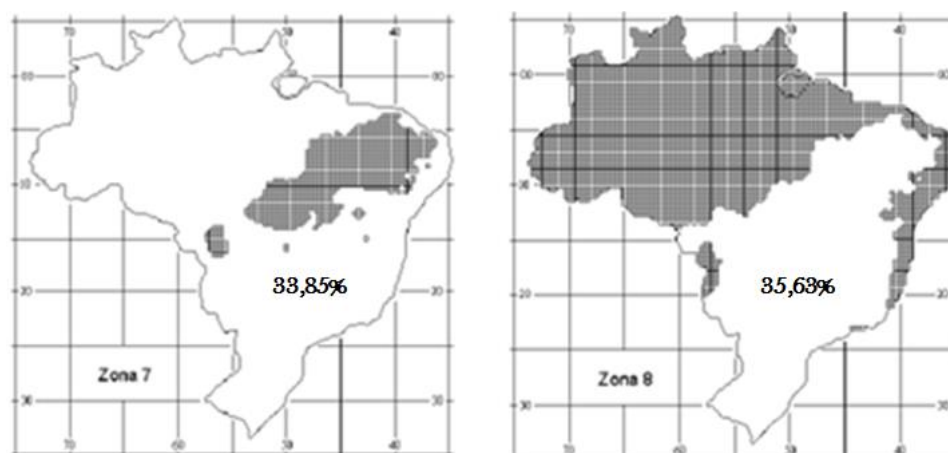


Fig. 180. Ahorro energético del mejor cerramiento comparado al cerramiento convencional (Zonas en color oscuro)

Para finalizar las conclusiones sobre las zonas se hizo un resumen de los ahorros energéticos. El primero compara los cerramientos con mayor y menor demanda, y el segundo compara la demanda del cerramiento modelo con el mejor cerramiento encontrado en las simulaciones.

Zona climática	Parámetro	Demanda de calefacción (kWh)	Tipo de fachada	% de ahorro en calefacción
Zona 1	Mínimo	74622	Int. macizo aisl/sin ventilar/0,6/ext cer.	32%
	Máximo	109955	convencional	
Zona 2	Mínimo	98199	FV mod sin ventilar/0,6/ext cer	32%
	Máximo	144371	Convencional	
Zona 3	Mínimo	45745	Int macizo aisl/sin ventilar/0,6/ext cer.	33%
	Máximo	69004	convencional	

Tabla 15. Comparativa de demandas mínimas y máximas.El ahorro medio de 32% en las zonas 1, 2 y 3

Zona climática	Parámetro	Demanda de calefacción (kWh)	Tipo de fachada	% de ahorro en calefacción
Zona 1	Mínimo	74622	Int macizo aisl/sin ventilar/0,6/ext cer.	2,08%
	FV modelo	76211		
Zona 2	Mínimo	98199	FV mod sin ventilar/0,6/ext cer	1,06%
	FV modelo	99261		
Zona 3	Mínimo	45745	Int macizo aisl/sin ventilar/0,6/ext cer.	4,57%
	FV modelo	47935		

Tabla 16. Comparativa de demandas de la Fachada ventilada modelo (FV) y la que presentó mejor comportamiento. La diferencia en estas zonas es muy pequeña.

Zona climática	Parámetro	Demanda de refrigeración (kWh)	Tipo de fachada	% de ahorro en refrigeración
Zona 4	Mínimo	7975	Int macizo/ext cer/entrada claro	76%
	Máximo	33598	FV modelo con baja emisividad	
Zona 5	Mínimo	17370	Int macizo/ext cer/entrada claro/baja emis	62%
	Máximo	45638	Fv modelo con baja emisividad	
Zona 6	Mínimo	41164	Int macizo/ext cer/entrada claro/baja emis	48%
	Máximo	79520	convencional	
Zona 7	Mínimo	125573	Int macizo/ext cer/entrada claro/baja emis	34%
	Máximo	189853	convencional	
Zona 8	Mínimo	107351	Int macizo/ext cer/entrada claro/baja emis	35%
	Máximo	166783	convencional	

Tabla 17. Comparativa de demandas mínimas y máximas. Zonas 4, 5, 6, 7 y 8. El ahorro es bastante variado pero todos pasan de 34%

Zona climática	Parámetro	Demanda de refrigeración (kWh)	Tipo de fachada	% de ahorro en refrigeración
Zona 4	Mínimo	7975	Int macizo/ext cer/entrada claro	71%
	FV modelo	28308		
Zona 5	Mínimo	17370	Int macizo/ext cer/entrada claro/baja emis	41%
	FV modelo	41499		
Zona 6	Mínimo	41164	Int macizo/ext cer/entrada claro/baja emis	37%
	FV modelo	66338		
Zona 7	Mínimo	125573	Int macizo/ext cer/entrada claro/baja emis	15%
	FV modelo	147865		
Zona 8	Mínimo	107351	Int macizo/ext cer/entrada claro/baja emis	17%
	FV modelo	129905		

Tabla 18. comparativa de demandas de la Fachada ventilada modelo (FV) y la que presentó mejor comportamiento (zonas 4, 5, 6, 7 y 8). Las diferencias con relación a la fachada modelo a diferencia de las zonas 1, 2 y 3, el bastante alta.

Opaco X transparente

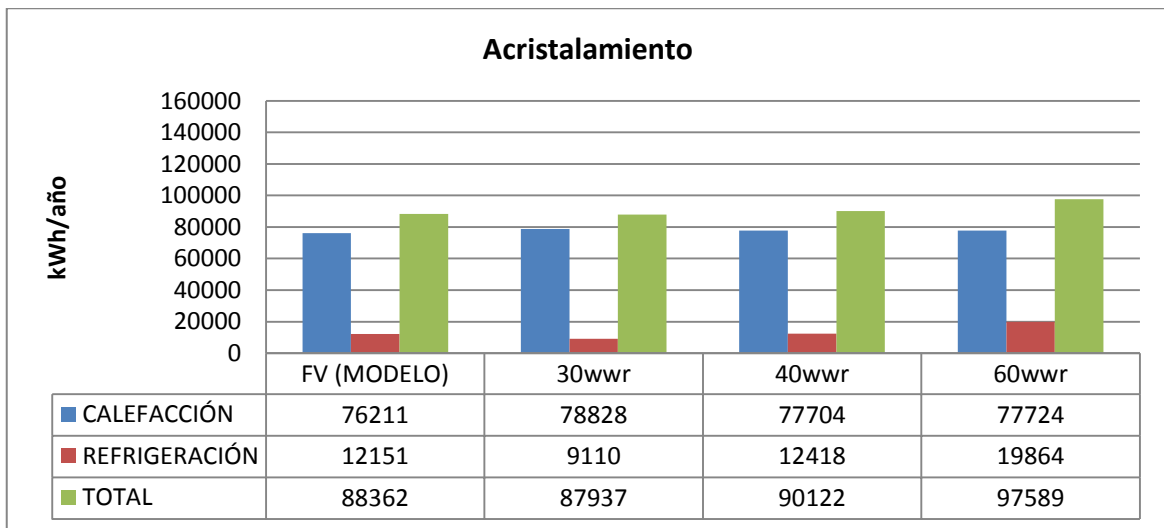
En los climas cálidos la incidencia de radiación solar a través de los cristales es un problema que hay que resolverlo siempre. La industria de vidrios ha evolucionado mucho en las últimas décadas, sin embargo la transparencia aún deja la radiación calentar el ambiente interior. Así hay que controlar la cantidad de cerramiento transparente en los trópicos.

Según Leão et al (2009) en su investigación sobre Doble Skin Façades (DSF) en Brasil, las ciudades situadas en el sur de país tienen una ligera tendencia para una mayor cantidad de acristalamiento en comparación con las regiones del norte. En las regiones con menores latitudes es necesario sombrear siempre. Esta tesis doctoral concluye que solamente la región sur puede utilizarse de la DSF, en las regiones de clima tropical las demandas energéticas suben mucho.

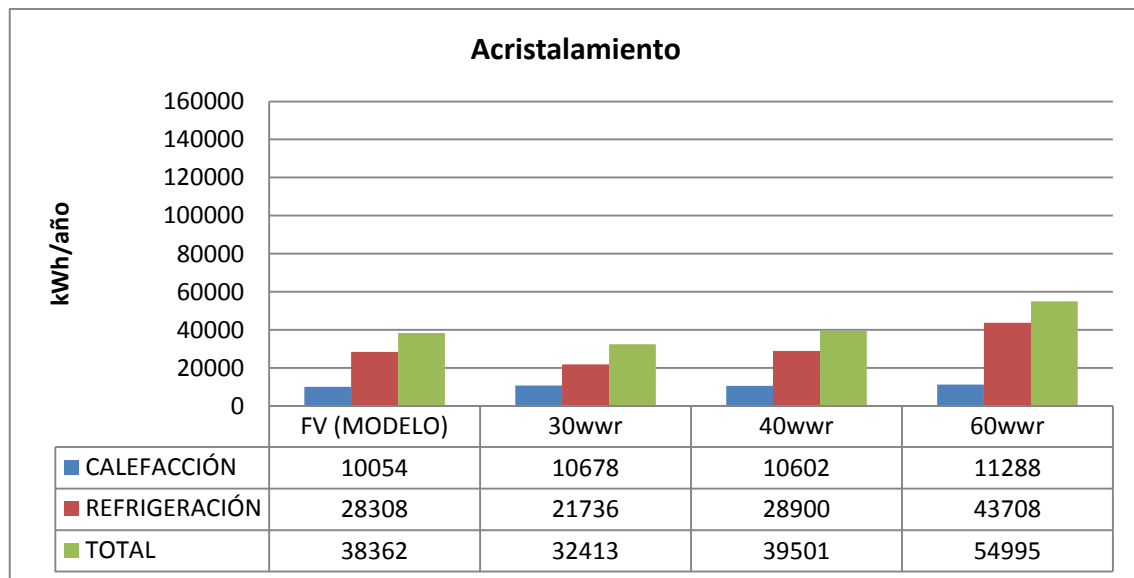
Es importante discutir este asunto pues la cantidad de vidrio puede determinar la mayor o menor eficiencia de la fachada opaca.

El modelo simulado presenta 38% de cerramiento acristalado con relación a la fachada opaca en las fachadas norte y sur. Con base en la investigación de Westphal , Yamakawa y Castro (2011) han sido simulados los valores de 30%, 40% y 60 %, considerados por los autores valores típicos de los edificios comerciales de Brasil. Es posible observar que las demandas suben demasiado, principalmente con el valor de 60 %. En esta investigación no se ha cambiado el tipo de vidrio, solamente su tamaño con relación a la fachada pues el objetivo era probar porcentajes de aperturas con relación a la fachada ventilada.

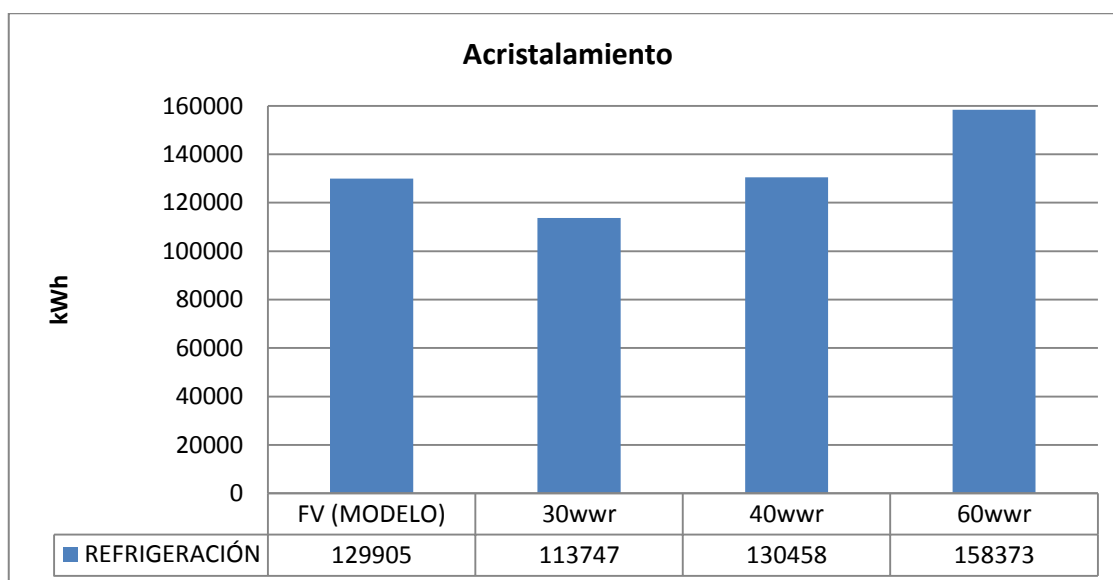
Un factor importante a señalar es que las demandas de calefacción no son afectadas con la diferencia en área de ventanas, pero la demanda de refrigeración aumenta. Así, en la zona 1, con 60% de acristalamiento en las fachadas norte y sur, la demanda total aumenta 10% con relación a la fachada modelo, y en las zonas 4 y 8 la demanda total aumenta 43% y 22% respectivamente (en las ciudades más cerca del Ecuador – zona 7 y 8, las fachadas este, oeste y la cubierta son las que más reciben radiación solar, por esta razón el ahorro es menor).



Gráfica 125. Demandas comparativas de la zona 1- Fachada ventilada modelo, 30%, 40 % y 60 % de acristalamiento (WWR - Window-to-wall ratio)



Gráfica 126. Demandas comparativas de la zona 4- Fachada ventilada modelo, 30%, 40 % y 60 % de acristalamiento (WWR - Window-to-wall ratio)



Gráfica 127. Demandas de refrigeración comparativas de la zona 8- Fachada ventilada modelo , 30%, 40 % y 60 % de acristalamiento (WWR - Window-to-wall ratio)

Al final se percibe que la utilización de más de 40% de vidrio en fachadas, principalmente en las zonas 4, 5, 6, 7 y 8 hace que la acción de ahorro energético de la fachada ventilada sea perdida. En la zona 8 el valor de la demanda de 158.373 kWh anual, con el cristal en 60% de la fachada, es mayor que cualquier cerramiento probado. El valor de 130.457kWh con 40% de la fachada se asemeja a la fachada ventilada sin ventilación igual a 131640 kWh/año. Lo ideal es que el acristalamiento no sobrepase el 40% de la superficie total de fachada.

A continuación se presentan algunos ejemplos de edificios con los cuales se hace publicidad de la utilización de la fachada ventilada en Brasil, todos con más de 50% de área acristalada. No tiene sentido invertir en un sistema de fachadas caro y no obtener todos los beneficios de ahorro energético que se podría obtener. Es un problema de diseño, no de la tecnología de fachada ventilada.



Fig. 181 y 182. Edificios con más de 40% de fachada transparente y fachada ventilada opaca.

Fuente: Hunter Douglas do Brasil

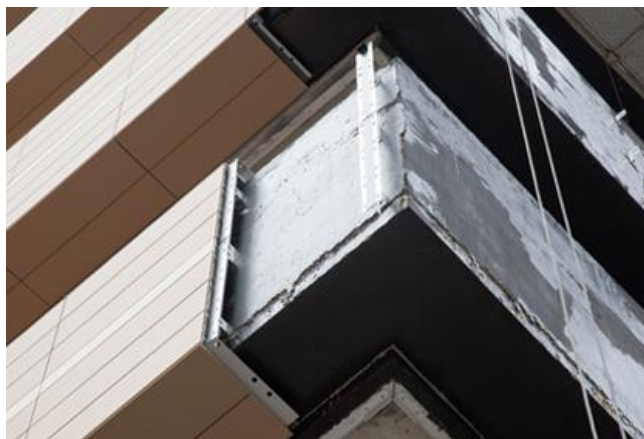


Fig. 183 y 184. Edifício Jurubatuba, en São Paulo, con más de 40% de fachada transparente y fachada ventilada opaca. Fuente: Gail cerámica (2014).

En un edificio como el Jurubatuba (arriba), la ventilación de la fachada es prácticamente inexistente: no hay entrada, ni salida de aire, la cámara tiene aproximadamente 1,5m de altura y es interrumpida por las ventanas, la fachada es 50% acristalada. Podría ser utilizada cualquier fachada opaca, la “ventilada” sólo va por su nombre y no por su eficiencia. El problema está en vincular la fachada ventilada en este edificio con ahorro energético y venderlo como eficiente energéticamente.

El diseño del edificio es más importante en todas las situaciones. Es inútil utilizar una fachada ventilada de la manera correcta si el diseño no está correcto. Diferentes fachadas exigen diferentes revestimientos, protecciones solares, cantidades de cristal. Las fachadas sur y norte reciben cantidades diferentes de radiación y deben ser tratadas de forma diferente (cantidad de vidrio, protección solar, ventilación de la fachada, colores...). Cuanto más vidrio en la fachada norte menos relevante es el papel de la fachada ventilada, ya en la sur no ocurre lo mismo. En esta fachada puede existir más vidrio en las latitudes mayores que 12° y la fachada no necesita ser ventilada, una vez que el sol no incide principalmente en las latitudes más altas.

Algunas reflexiones finales

Quizás la tradición brasileña no sea copiar un modelo, sino reinventarlo. Así aprovechar los aspectos positivos de la nueva tecnología, como su flexibilidad, posibilidades estéticas, inserción de una subestructura, posibilidad de cambiar piezas, posibilidad de alejar la humedad (que para un país tropical, donde en un día puede llover más de 200mm, es muy importante). Pero añadir el papel de la sombra, alejar la

radiación solar, que aún no están totalmente resueltos por la fachada ventilada europea.

Pardal (2014) divide los tipos de fachada que resultan del *cavity Wall* original: **drenante, ventilada y de revestimiento**, añadiendo que es importante saber **para qué se proyecta**, para evaluarse las mejores soluciones y diseñar mejor el sistema. La drenante tiene la función de alejar el agua de la fachada, la ventilada es aquella que intenta a partir de la circulación de aire en la cámara mejorar el confort térmico en climas calurosos y la fachada revestimiento tiene la intención de vestir el edificio con una capa estética. En países tropicales la función de sombrear queda pendiente, es más que solo ventilar. Hay que sombrear las paredes y dejar el aire pasar libremente.

Abajo siguen algunos ejemplos que ilustran estas conclusiones: edificios que presentan sombra en las fachadas, maximizando el movimiento de aire con espacio entre las hojas interior y exterior.

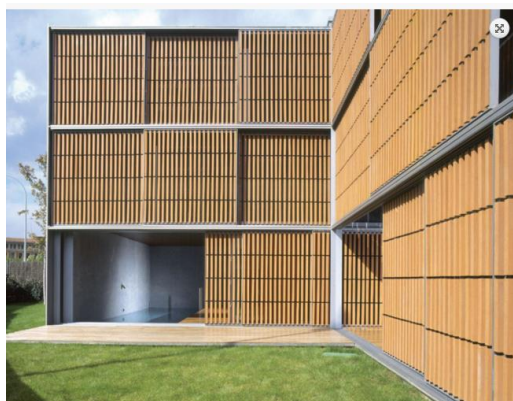


Fig. 185 y 186. Elemento sombreador de fachada, bastante distante de la hoja interior (izquierda) y Elemento sombreador móvil (derecha) – flexibilidad . Fuente: nbkterracotta.com



Fig. 187 y 188. Muchos agujeros en la fachada, facilitando el movimiento (izquierda). Sombra sobre fachada opaca (derecha). Fuente: Nbk Chile



Fig. 189 y 190 .Sombra sobre fachada, muchas aperturas. Fuente: valedandara.com



Fig. 191 y 192 Sombra sobre fachada y grande espacio sombreado por detrás. Fuente: Julia.com

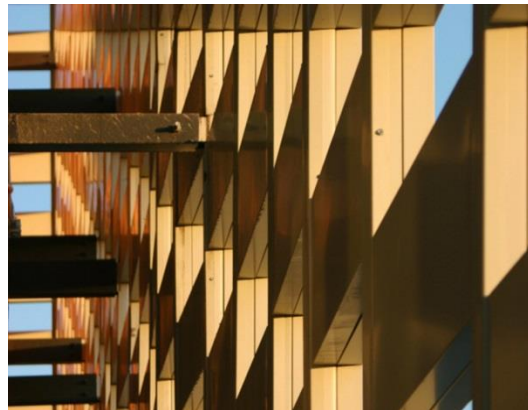
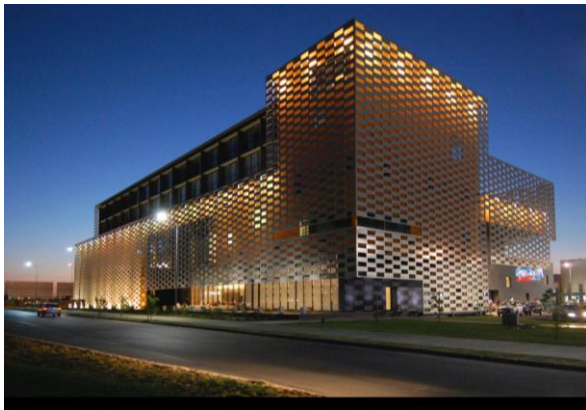


Fig. 193 y 194. Sombra sobre fachada opaca, mucho espacio por detrás. Cassino e Hotel de Talca / Rodrigo Duque Motta + Rafael Hevia García-Huidobro – Talca Chile. Fuente: Hunter Douglas do Brasil.com



Fig. 195, 196 y 197. Elementos tradicionales de sombra brasileños (cobogós) con espacio para el aire. Fuente: <http://omniapcp.com.br/>

Se podría añadir a eso otra idea interesante: un modelo que se aproximase a la Double Skin Façade (DSF), que son las fachadas de doble piel con la hoja exterior en vidrio y en el medio una cámara de aire ancha, que puede tener hasta 1m y ventilar de diversas maneras. Este tipo de fachada posee una metodología de diseño propia, una clasificación según el tipo de ventilación (que puede ser natural o mecánica), entre otros factores, que las convierte en interesantes objetos de estudio y comparación.

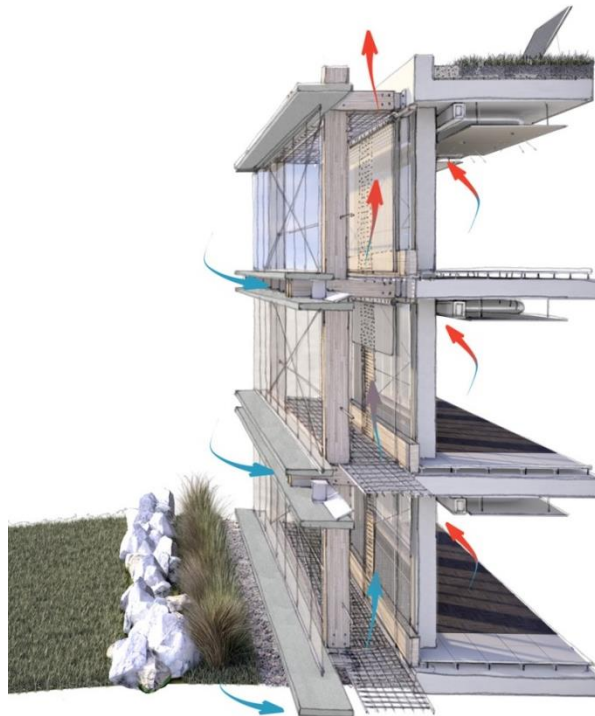


Fig. 198. Double Skin Façade. Fuente: <https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/originals/4a/48/c9/4a48c93123382a9c8b30b833031f4135.jpg>

Habría que sustituir la piel de vidrio exterior por una piel opaca o con agujeros como los cobogós¹⁹ brasileños y separarla de la hoja interior. Lo que parece una buena idea es dejar más espacio para la cámara de aire y controlar la ventilación. La DFS abajo enseña la variabilidad de ventilación en invierno y verano.

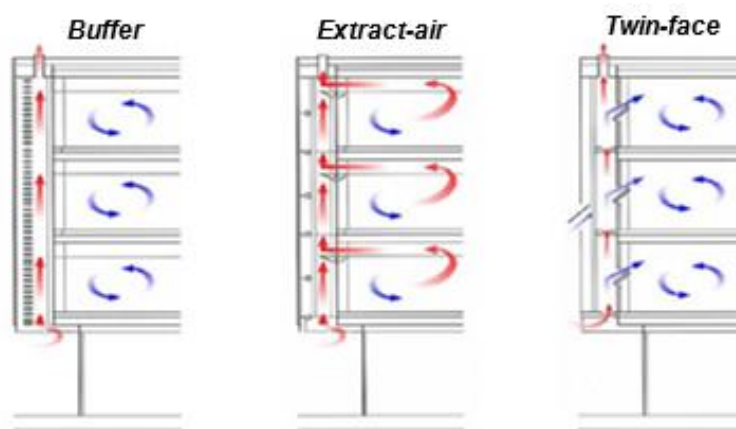


Fig. 199. Tipos de ventilación de las DSF. Fuente. Boake, 2003.

Así la cámara de aire debería tener otro status, no ser simplemente el espacio que sobra entre la hoja exterior y la interior.

Finalmente para concluir el trabajo, la fachada ventilada puede ser utilizada en Brasil, pero de manera distinta al que se utiliza en Europa. En primer lugar en las zonas más frías (1, 2 y 3) se utilizaría la fachada ventilada por su poder drenante y de aislamiento térmico, las capas aquí tienen poca influencia. En las zonas cálidas (4, 5, 6, 7 y 8), por otro lado, el papel de todas las capas es de fundamental importancia: color claro, hoja exterior e interior con masa térmica y sin aislar, posibilidades de ventilar abundantes con generosas entradas y salidas de aire, el ancho de la cámara lo mayor posible y el acabado de las hojas interior y exterior debe ser muy liso para permitir que la rugosidad no perjudique el paso del aire. Así deben ser las adaptaciones de este modelo europeo para la realidad brasileña.

¹⁹ Cobogó es el nombre dado a los elementos huecos, hechos generalmente de diversos materiales (cerámico, hormigón, madera), completando paredes y muros para permitir una mayor ventilación e iluminación dentro de un edificio, ya sea residencial, comercial o industrial

Futuras investigaciones

En estas conclusiones se ha percibido que en este clima tropical lo más importante es no dejar que la radiación toque la fachada, así se propone para trabajos futuros estudios de los elementos tradicionales de sombra junto a las técnicas de ventilación de la DSF, mezclando la tradición brasileña con sistemas más avanzados.

Como las simulaciones son solamente aproximaciones de la realidad, pistas de lo que pasaría en la vida real, sería interesante hacer mediciones en un prototipo de fachada ventilada en Brasil y verificar si se confirman las afirmaciones de esta tesis. Después de mediciones, una investigación que tratase de las cámaras de aire con mayor énfasis sería muy útil, midiendo la eficiencia real de diferentes anchos y diferentes flujos de aire. Al final comparar estos resultados a simulaciones para validar nuevos modelos y probar otras soluciones en diferentes zonas climáticas.

BIBLIOGRAFIA

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *ASTM C 1158 Standard Practice for Installation and Use of Radiant Barrier Systems (RBS) in Building Construction*. West Conshohocken, 1997.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *ASTM C 1313 Standard Specification for Sheet Radiant Barriers for Building Construction Applications*. West Conshohocken, 2000.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *ASTM C 727-12 Practice for use of reflective insulation in building constructions*. West Conshohocken, 2012.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *Standard Specification for Reflective Insulation for Building Applications*, ASTM C 1224. West Conshohocken, 2001.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING, AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. *ASHRAE 55. Standard 55-2013 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. ISSN 1041-2336. Atlanta, 2013.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING, AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. *ASHRAE 62 Ventilation for acceptable indoor air quality*. Atlanta, 2001.

APARICIO FERNANDEZ, C.S. *Revestimientos ventilados en la arquitectura contemporánea. Influencia del diseño constructivo y su entorno en el comportamiento térmico*. Tesis doctoral inédita. Universitat Politècnica de València, Escola Tècnica Sup. de Gestió en l'Edificació, 2010.

APARICIO FERNÁNDEZ, et al . Energy performance of a ventilated façade by simulation with experimental validation. *Applied Thermal Engineering*, 2014, v. 66, issue 1-2, p.563-570 [fecha de consulta: enero 2015]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431114001331>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 15220: Desempenho Térmico de Edificações*. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 15575: Desempenho de edificios habitacionais até 5 pavimentos*. Rio de Janeiro, 2008.

ASOCIACIÓN NACIONAL DE FABRICANTES DE MATERIALES AISLANTES. *Informe sobre fachadas y reacción al fuego de los materiales aislantes*. Enero, 2016 [fecha de consulta: junio 2016]. Disponible en: <http://www.andimat.es/wp-content/uploads/Informe-sobre-fachadas-y-reacci%C3%B3n-al-fuego-de-los-materiales-aislantes-2016.pdf>.

ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALIZATION. *Isolants thermiques destinés au bâtiment – Definition, NF P 75-01*. Saint-Denis La Plaine, 1983.

ATLAS DE ENERGIA ELÉTRICA DO BRASIL. 3ª ed. Agência Nacional de Energia Elétrica, Brasília: Aneel, 2008 [fecha de consulta: junio 2015]. Disponible en: http://www.aneel.gov.br/visualizar_texto.cfm?idtxt=1689.

ATLAS SOLARÍMÉTRICO DO BRASIL: banco de dados solarimétricos. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2000 [fecha de consulta: junio 2015]. Disponible en: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Atlas_Solarimetrico_do_Brasil_2000.pdf.

BAIRD, J. (ed) . *ASHRAE HANDBOOK COMMITTEE 2001 Fundamentals*, Atlanta, 2001.

BALOCCO, C. A non-dimensional analysis of a ventilated double façade energy performance. *Energy and Buildings*, 2004, Volume 36, Issue 1, p.35–40 [fecha de consulta: noviembre 2012]. Disponible en: [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-7788\(03\)00086-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-7788(03)00086-0).

BANNIER, E. Contribution of the ventilated façade to building energy demand. *Qualicer'12*. Castellón, España, 2012.

BARTH, F. y GRILO, A.C. Análise Higro-térmica de fachadas ventiladas nas condições de inverno. En: *IX Encontro Nacional de Tecnologia do ambiente construído (ENTAC)*. Foz do Iguaçu, Brasil, Mayo, 2002.

BARTH, F. The hygro-thermal performance of ventilated facade in a hot humid climate. En: *Plea 2001*, Florianópolis, Brasil, nov, 2001.

BITTENCOURT, L. *Uso das cartas solares diretrizes para arquitetos*. Maceió: EDUFAL, 2000.

BOAKE, T. M. *Understanding the principles of double skin facades system*. 2003 [fecha de consulta: enero 2016]. Disponible en: http://www.tboake.com/pdf/double_facade_general.pdf.

BOBADILLA. E. M. F. *Manual básico para fachadas ventiladas y aplacados : requisitos constructivos y estanqueidad*. Gestión de calidad en la Edificación. Consejería de obras públicas, viviendas y transporte. Comunidad autónoma de la región de Murcia. 2007.

BOGDAN DALE R. B. et al. Ventajas y condicionantes de fachadas ventiladas frente a los requisitos básicos de la edificación (CTE) . En: *Qualicer*, febrero, 2010. Universitat Jaume I, Castellón, España [fecha de consulta: octubre 2013]. Disponible en: <http://2010.qualicer.org/>.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. *Atlas de energia elétrica do Brasil*. 3. ed. Brasília : Aneel, 2008. ISBN: 978-85-87491-10-7

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. *Balanço Energético Nacional 2012 – Ano base 2011: Resultados Preliminares*. Rio de Janeiro: EPE, 2012.

ÇENGEL, Y. *Heat Transfer: A Practical Approach - 2nd edition*. Nevada, Reno: McGraw-Hill, 2002.

CHVATAL, K. M. S. *Relação entre o nível de isolamento térmico da envolvente dos edifícios e o potencial de sobreaquecimento no verão*. Tesis Doctoral inédita. Universidade do Porto, Portugal, 2007.

CIAMPI M., LECCESE F. y TUONI G. Ventilated facades energy performance in summer cooling of buildings. *Solar Energy*, 2003 , nº75 , issue 6, p. 491–502. [fecha de consulta: marzo 2013]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X03003396> .

CLARK, J. *Energy simulation and building design*. Oxford: Butterworth Heinemann, 2001.

DARÉ, C. A. N., TARGA, L. A. y ISA, M. M. Avaliação da eficiência de isolantes térmicos por reflexão, utilizados como subcobertura. *Energ. Agric.* Botucatu, 2005, vol 20 , nº 2, p. 14-29.

DJONGYANG, N., TCHINDA, R., y NJOMO, D. Thermal comfort: A review paper. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2010, 14(9), p. 2626-2640 [fecha de consulta: noviembre 2013] Disponible: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032110002200>.

ESPAÑA. CTE. “*Documento básico de ahorro de energía*”. [fecha de consulta: noviembre 2014]. Disponible en: http://161.111.13.202/apache2-default/cte/CTE_DB-HE.pdf.

FRANCESCA STAZIA, F., VEGLIÒA, A. y PERNABA C. Experimental assessment of a zinc-titanium ventilated façade in a Mediterranean climate. *Energy and Buildings*, 2014, nº69, p. 525–534. ” [fecha de consulta: enero 2015]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778813007500>.

FROTA, A. Y SCHIFFER, S.R. *Manual de Conforto Térmico*. São Paulo: Ed. Nobel: 2001.

GAGLIANO A. et al. Computational Fluid Dynamic Simulations of Natural Convection in Ventilated Facades, Evaporation, Condensation and Heat transfer. En: AHSAN A. (ed.). *InTech*. DOI: 10.5772/19817, 2011. [fecha de consulta: enero 2014]. Disponible en: <http://www.intechopen.com/books/evaporationcondensation-and-heat-transfer/computational-fluid-dynamic-simulations-of-natural-convection-in-ventilatedfacades>.

GIANCOLA, E. *El comportamiento energético de una fachada ventilada de juntas abiertas*. Tesis doctoral inédita. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Madrid, 2010.

GIVONI, B. Confort climate analisys and building design guidelines. *Energy and Buildings*, 1992, v. 18, n 1, p 11-23.

GREGÓRIO ATEM, C. *La influencia de distintos muros exteriores en el confort térmico de viviendas en un clima subtropical húmedo*. Tesina de fin de máster inédita. Universitat Politècnica de Catalunya, 2012.

GRIFFITH, B. *A model for naturally ventilated cavities on the exteriors of opaque building thermal envelopes*. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory, 2006. [fecha de consulta: enero 2014]. Disponible en: <http://purl.access.gpo.gov/GPO/LPS83223>.

HINOJOSA ALCÁNTARA L. *Análisis y optimización del comportamiento térmico de un edificio con fachadas ventiladas mediante TRNSYS*. Proyecto Fin de Carrera inédito. Universidad Politécnica De Valencia - Escuela Técnica Superior De Ingenieros Industriales, 2012.

HOLMAN, J.P. *Transferencia de calor*. Ciudad de Mexico: Editorial Continental, 1999.

IRULEGI GARMENDIA, O. *Eficiencia Energética de fachadas ventiladas activas aplicadas a edificios de oficinas en España*. Tesis doctoral inédita. Universidad del País Vasco: Escuela Técnica Superior de Arquitectura de San Sebastián. San Sebastián, 2010.

KAIJIMA, S., BOUFFANAIS, R. y WILLCOX, K. Computational fluid dynamics for architectural design. En: *Open Systems: Proceedings of the 18th International Conference of the Association of Computer-Aided Architectural Design Research in Asia CAADRIA 2013*, The Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA), Hong Kong, 2013.

KLEIN, S.A. et al. *TRNSYS, A Transient Simulation Program*. Madison: Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin, USA, 1997.

KVISGAARD, B. Thermal Comfort. *INNOVA Air Tech Instruments A/S*, Dinamarca, 1997.

LABORATORIO DE CONTROL DE CUALIDAD EN LA EDIFICACIÓN DEL GOBIERNO VASCO. *Comportamiento energético de una fachada ventilada en la zona climática del País Vasco: Ensayos de caracterización térmica en condiciones exteriores mediante una célula Paslink, de una fachada ventilada con aplacado cerámico como solución de rehabilitación*. Vitoria-Gasteiz: Eraikal, 2013.

LAMBERTS, R. *Conforto e Stress térmico*. Apostila (ECV 4200 I ARQ1303) . Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.

LEÃO, M. et al. Energy efficiency of double skin façades: an approach to Brazilian climates. *Bauphysik* . Berlin: Ernst & Sohn, 2009, 31, Heft 6. DOI: 10.1002/bapi.200910047.

LÓPEZ et al. Experimental analysis and model validation of an opaque ventilated façade. *Building and Environment* , 2012, n°56, p. 265-275. [fecha de consulta: febrero 2014] Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132312001096>.

LÓPEZ JIMÉNEZ, P. A. et al . Model of ventilated façade in buildings by using CFD techniques. En: *International Environmental Modelling and Software Society (iEMSs), 2010, International Congress on Environmental Modelling and Software Modelling for Environment's Sake*, Fifth Biennial Meeting, Ottawa, Canada, 2011 [fecha de consulta: enero 2013]. Disponible en: <http://www.iemss.org/iemss2010/index.php?n=Main.Proceedings>.

LÓPEZ, P., SANTIAGO, M.R de A. Sensitivity study of an opaque ventilated façade in the winter season in different climate zones in Spain. *Renewable Energy*, 2015, n°75, p. 524-533. [fecha de consulta: agosto 2015] . Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148114006582>.

LSTIBUREK , J. *The perfect wall*. Building Science Insights, 2008.

MAHFUZ, Edson. O sentido da arquitetura moderna brasileira. *Arquitextos*, 2002, São Paulo, ano 02, n. 020.01 [fecha de consulta: enero 2016] . Disponible en: <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/02.020/811>.

MARINOSCI C. , SEMPRINI, G., MORINI, G.L. Experimental analysis of the summer thermal performances of a naturally ventilated rain screen facade building . *Energy and Buildings*, 2014, n°72, p. 280–287 [fecha de consulta: octubre 2013] Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037877881300861X>.

MASOSO, O.T. , GROBLER, L.J. A new and innovative look at anti-insulation behaviour in building energy consumption. *Energy and Buildings*. 2008, Volume 40, Issue 10, p. 1889-1894 [fecha de consulta: mayo 2013] Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778808000923>.

MELO, A. P. *Análise da influência da transmitância térmica no consumo de energia de edificações comerciais*. Tesina de fin máster inédita. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, 2007.

MICHELS, C. *Análise da transferência de calor em coberturas com barreiras radiantes*. Tesina de fin de máster inédita. Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, 2007.

MIQUEL ZURITA, C. *La interfase hueco-macizo en fachadas ventiladas de hoja interior ligera*. Tesina de fin de máster inédita. Universitat Politècnica de Catalunya , 2011.

MÜLLER, A. *Desenvolvimento de um protótipo e análise do comportamento térmico de fachada ventilada com placas cerâmicas de grês porcelanato*. Tesis doctoral inédita. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, 2003.

NABONI. E. Ventilated opaque walls - A performance simulation method and assessment of simulated performance. En: *Seminar Notes at Lawrence Berkeley National Laboratory Environmental Energy Technologies Division Berkeley*, May 28, 2007. [fecha de consulta: enero 2013]. Disponible en: http://gundog.lbl.gov/dirpubs/vent_facade.pdf.

OLIVEIRA, L. A. de. *Metodologia para desenvolvimento de projeto de fachadas leves*. Tesis doctoral inédita. Universidade de São Paulo, Brasil, 2009.

ORDENES, M, LAMBERTS, R y GÜTHS S. *Transferencia de calor na envolvente da edificação*. Apostila. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.

OSTRANDER, C., y SATKO, J. History of Insulation with Masonry. En: *THE MASONRY EDGE*, 2011, vol. 2, n°. 2. Masonry Advisory Council. [fecha de consulta: enero 2014]. Disponible en: <http://masonryadvisorycouncil.org/wp-content/uploads/2016/06/History-of-Insulation-with-Masonry.pdf>.

PARDAL, C. PARICIO, I. *La fachada ventilada y ligera*. Barcelona: Bisagra, 2007.

PARICIO, I. y PARDAL, C. Añagazas de la fachada ventilada: ¿pluvial o revestida?. “*Palimpsesto*” #9. Febrero 2014 [fecha de consulta: septiembre 2015] Disponible en: http://b720.com/imagenes/publicacion_archivo/2811-305-1-SM.pdf.

PATANIA et al. Thermofluid-dynamic analysis of ventilated facades. *Energy and Buildings*, 2010, n°42, p. 1148–1155 [fecha de consulta: noviembre 2012]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037877881000037X>.

PEREZ, M. M. et al. Cuantificación de la eficiencia de la fachada cerámica ventilada mediante técnicas de la mecánica de fluidos computacional. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*. Marzo-Abril 2011, Vol 50, 2, 99-108, ISSN 0366-3175. eISSN 2173-0431. doi: 10.3989/cyv.142011.

ROMERO, M. B. *Principios Bioclimáticos para o desenho urbano*. São Paulo: Pro editores, 2001.

RORIZ, M. et al. Sistemas construtivos de baixa resistência térmica podem proporcionar mais conforto. En: *X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído*. Natal, Brasil, setembro de 2009.

RORIZ, M., GHISI, E. y LAMBERTS, R. Um Zoneamento Bioclimático Para a Arquitetura no Brasil. En: *Jornada Sobre Clima e Aplicação na Comunidade de Países de Língua Oficial Portuguesa*, Maceió: UFAL, 2001. p. 1-7.

RUTTER, R. *Edifícios Fotovoltaicos*. o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil. Florianópolis : LABSOLAR, 2004.

SABBATINI, F. H. *Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: formulação e aplicação de uma metodologia*. São Paulo, 1989.

SANJUAN C. et al. Development and experimental validation of a simulation model for open joint ventilated façades. *Energy and Buildings*, December 2011, Volume 43, Issue 12, p. 3446–3456 [fecha de consulta: noviembre 2012] Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.09.005>.

SANJUAN C. et al. (b) Energy performance of an open-joint ventilated façade compared with a conventional sealed cavity façade. *Solar Energy*, September 2011, Volume 85, Issue 9, p. 1851–1863 [fecha de consulta: noviembre 2012]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2011.04.028>.

SANJUAN, C. et al. (c) Experimental analysis of natural convection in open joint ventilated façades with 2D PIV. *Building and Environment*, November 2011, Volume 46, Issue 11, p. 2314–2325 [fecha de consulta: noviembre 2012]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.05.014>.

SANTOS SÁ, J. dos. *El edificio escolar en el ensache de Barcelona*. Tesis doctoral inédita. Universitat Politècnica de Catalunya, Departament de Construccions Arquitectòniques I, Barcelona, 2012.

SEGAWA, H. *Arquiteturas no Brasil 1900-1990*. São Paulo: Edusp, 1998.

SERRA, R. F. y COCH, H. *Arquitectura y Energía Natural*. Barcelona: Edicions UPC, 2001.

SILVA, A. C. S. B. *Zoneamento bioclimático brasileiro para fins de edificação*. Tesina de fin máster inédita. Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, Porto Alegre, Brasil, 1994.

SIQUEIRA JÚNIOR, A. A. de. *Tecnologia de fachada-cortina com placas de grês porcelanato*. Tesina de fin de máster. Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, São Paulo, Brasil, 2003.

SOUZA, L. G. Análise comparativa do custo de uma casa unifamiliar nos sistemas construtivos de alvenaria, madeira de lei e Wood Frame. En: *Especialize IPOG*. Florianópolis, 26 de Abril de 2012 [fecha de consulta: noviembre 2014]. Disponible: <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/analise-comparativa-do-custo-de-uma-casa-unifamiliar-nos-sistemas-construtivos-de-alvenaria-madeira-de-lei-e-wood-frame-1335716.pdf> .

SOTO FRANCÉS, V.M. et al. Modeling of ventilated façades for energy building simulation software. *Energy and Buildings*, 2013, n 65, 419–428. [fecha de consulta: agosto 2014]. Disponible: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778813003538> .

STAZI F. et al. Experimental evaluation of ventilated walls with an external clay cladding. *Renewable Energy*, December 2011, Volume 36, Issue 12, p. 3373–3385 [fecha de consulta: noviembre 2012]. Disponible: <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2011.05.016>.

SUÁREZ C. et al. Heat transfer and mass flow correlations for ventilated facades. *Energy and Buildings*, December 2011, Volume 43, Issue 12, p. 3696–3703 [fecha de consulta: noviembre 2012]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.10.002>.

SUÁREZ M. J. et al. Energy evaluation of an horizontal open joint ventilated façade. *Applied Thermal Engineering*, May 2012, Volume 37, p. 302–313 [fecha de consulta: noviembre 2012]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2011.11.034>.

VITTORINO, F., SATO, N. M. N. , AKUTSU, M. Desempenho térmico de isolantes refletivos e barreiras radiantes aplicados em coberturas. En: VII *Encontro Nacional e II Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construido*, ENCAC. Curitiba, Brasil, noviembre de 2003.

WALSH, A., LABAKI, L. C. , CÓSTOLA D. Panorama do zoneamento bioclimático nas américas. En: 15° *ENTAC* , *Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*. Maceió, Brasil, noviembre 2014 [fecha de consulta: noviembre 2015]. Disponible em: <Http://doi.org/1017012/entac2014.726>.

WESTPHAL F. S., YAMAKAWA, M. A. y CASTRO, L. T. de. Thermal insulation of building envelope toward zero energy design in hot-humid climate. En: *Proceedings of*

Building Simulation 2011: 12th Conference of International Building Performance Simulation Association, Sydney, 14-16 November, 2011

ZUFFO, E. R. M. *Pioneiros modernos: verticalização residencial em Higienópolis*. Tesis doctoral inédita. Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, Barsil, 2009.

ZURITA, C. M. *La interface hueco-macizo en fachadas ventiladas de hoja interior ligera*. Tesina de fin de máster. Universitat Politècnica de Catalunya. 2011.

Páginas WEB

<https://www.flickr.com/photos/salasserveis/7459606992/in/photostream/>

<http://www.svcarquitectura.com/>

<http://www.saas.es/95-viviendas-en-el-distrito-22-2/>

<http://www.premiosdearquitectura.es/ca/Premis/premis-d-habitatge-social-de-catalunya-2012-29/Inscripcions/95-habitatges-a-roc-boronat-barcelona-409.html>

<http://www.construction21.eu/espana/case-studies/es/95-viviendas-en-roc-boronat.html>

<http://blogs.salleurl.edu/green/files/2012/03/Ficha-Edificio-Viviendas-Roc-Boronat.pdf>

<http://www.construction21.eu/espana/data/exports/pdf/twentytu-hi-tech-hostel.pdf>

<http://geoconceicao.blogspot.com.br/2011/12/formacao-do-relevo-brasileiro-decorre.html>

<http://www.brasilecola.com/brasil/regioes-brasileiras.htm>

<http://geoconceicao.blogspot.com.br/2012/05/classificacao-climatica-de-koppen.html>

<http://geoconceicao.blogspot.com.br>

AIGUASOL. Disponible en: <http://aiguasol.coop/>

CLIMATICUS. Disponible en:
[www.fau.usp.br/pesquisa/laboratorios/labaut/.../Climaticus_2011\(beta\).xlsm](http://www.fau.usp.br/pesquisa/laboratorios/labaut/.../Climaticus_2011(beta).xlsm)

COMIS : MULTIZONE AIR FLOW AND POLLUTANT SIMULATION :
<http://www.buildup.eu/es/node/7541>.

COMIS Multizone Air Flow Model . Disponible en: <http://epb.lbl.gov/comis/>

CONSTRUCTION21. Disponible en: www.construction21.org

ITEC. Disponible en: <http://itec.es/>

MANCIÑEIRAS/PARÉS ARQUITECTES. Disponible en: www.mancineiraspares.com

MCDONOUGHPARTNERS. Disponible en: www.mcdonoughpartners.com

PICH-AGUILERA. Disponible en: www.picharchitects.com

Rockwool. Disponible en: www.rockwool.es/

SABATÉ ASSOCIATS. Disponible en: www.saas.cat/

Catálogos técnicos de las empresas :

Euronit. Disponible en: www.euronit.es

Frontek. Disponible en: www.grecogres.com/frontek/

Butech. Disponible en: www.butech.es

Favemanc. Disponible en: www.favemanc.com

Hunter Douglas España. Disponible en: www2.hunterdouglascontract.com/es-ES/.../index.jsp

Swisspearl España. Disponible en: www.swisspearl.com

Ulma Architectural Solutions. Disponible en: www.ulmaarchitectural.com/br/empresa/

Faveton. Disponible en: www.faveton.com/

Prodema. Disponible en: www.prodema.com/es/

Mecanofas. Disponible en: <http://www.obralia.com/dir/minisites/catalogos/46379/Catalogo%20Tecnico-Comercial.pdf>

Terreal España. Disponible en: www.terreal.es/

Trespa España. Disponible en: www.trespa.com/es

Saate. Disponible en: www.saate.es/fachadas-ventiladas.php

Agrob- buchtal España. Disponible en: www.buchtal.es/

La Paloma. Disponible en: www.ceramica-lapaloma.es/texturas-de-paredes/

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

CARVALHAL, C. M. *Simulação do comportamento térmico de edifícios com fachadas ventiladas*. Tesina de fin de máster. Universidade de Aveiro. Aveiro, Portugal, 2008.

CRAWLEY, D B et al. *Contrasting the capability of building energy performance simulation programs*. Department of energy of United States of America, The University of Wisconsin, University of Strathclyde Version 1.0, july, 2005.

FERREIRA, K, GEROLA, G. Fachadas ventiladas : como especificar. *Revista AU*. Ed. 231 - Junho/2013.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. *Eficiência Energética na Arquitetura* . São Paulo: PW Editores, 1997.

LÓPEZ SUÁREZ, M. J. *Análisis numérico de sistemas solares pasivos en la edificación*. Tesis doctoral inédita. Univiersidad de Oviedo. Departamento de Física. Gijón, 2012.

MEDEIROS, J. S. La introducción de un sistema de fachada ventilada con paneles cerámicos en Brasil: de la idea a la práctica. En: *Qualicer - XII Foro Global del Recubrimiento Cerámico*, Castellón, España, febrero, 2012.

MOURA,E. Fachadas respirantes. *Revista Techne*. Ed. 144, Marzo,2009.

PARDAL MARCH, C. *La hoja interior de la fachada ventilada: Análisis, taxonomía y prospectiva*. Tesis Doctoral inédita. Escola Tècnica Superior D'Arquitectura de Barcelona. Universitat Politecnica de Catalunya. Barcelona, 2009.

REVISTA PROJETO. Soluções termoacústicas: Fachadas duplas ventiladas são opção na busca pela eficiência energética e por certificações de sustentabilidade. *PROJETO*. Mayo, 2011.

CIANFRINI C. et al Energy performance of a lightweight opaque ventilated façade integrated with the HVAC system using saturated exhaust indoor air. *Energy and Buildings*, July 2012, Volume 50, p. 26–34. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.03.014>.

GIANCOLA, C. SANJUAN, E. BLANCO, HERAS, M.R. Experimental assessment and modelling of the performance of an open joint ventilated façade during actual operating conditions in Mediterranean climate. *Energy and Buildings*, November 2012, Volume 54, p.363–375. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.07.035>.

GONZÁLEZ ,Marcos et al. Numerical study on thermal and fluid dynamic behavior of an open-joint ventilated façade. In: *PLEA 2008 – 25th Conference on Passive and Low Energy Architecture*, Dublin, octubre, 2008.

GRACIA A., et al. Experimental study of a ventilated facade with PCM during winter period. In: *Energy and Buildings*, March 2013, Volume 58, p. 324–332. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.10.026>.

IRULEGI O. et al . *Ventilated active facades to reduce heating demand in office buildings. The case of Spain. Informes de la Construcción*. Octubre-diciembre 2012, Vol. 64, 528, p.575-585.

KARAVA P., STATHOPOULOS T. y ATHIENITIS A.K. Airflow assessment in cross-ventilated buildings with operable façade elements. *Building and Environment*, January 2011, Volume 46, Issue 1, p. 266–279. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.07.022>.

LABAT, M et al. Impact of direct solar irradiance on heat transfer behind an open-jointed ventilated cladding: Experimental and numerical investigations. *Solar Energy*, September 2012, Volume 86, Issue 9, p. 2549–2560. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2012.05.030>.

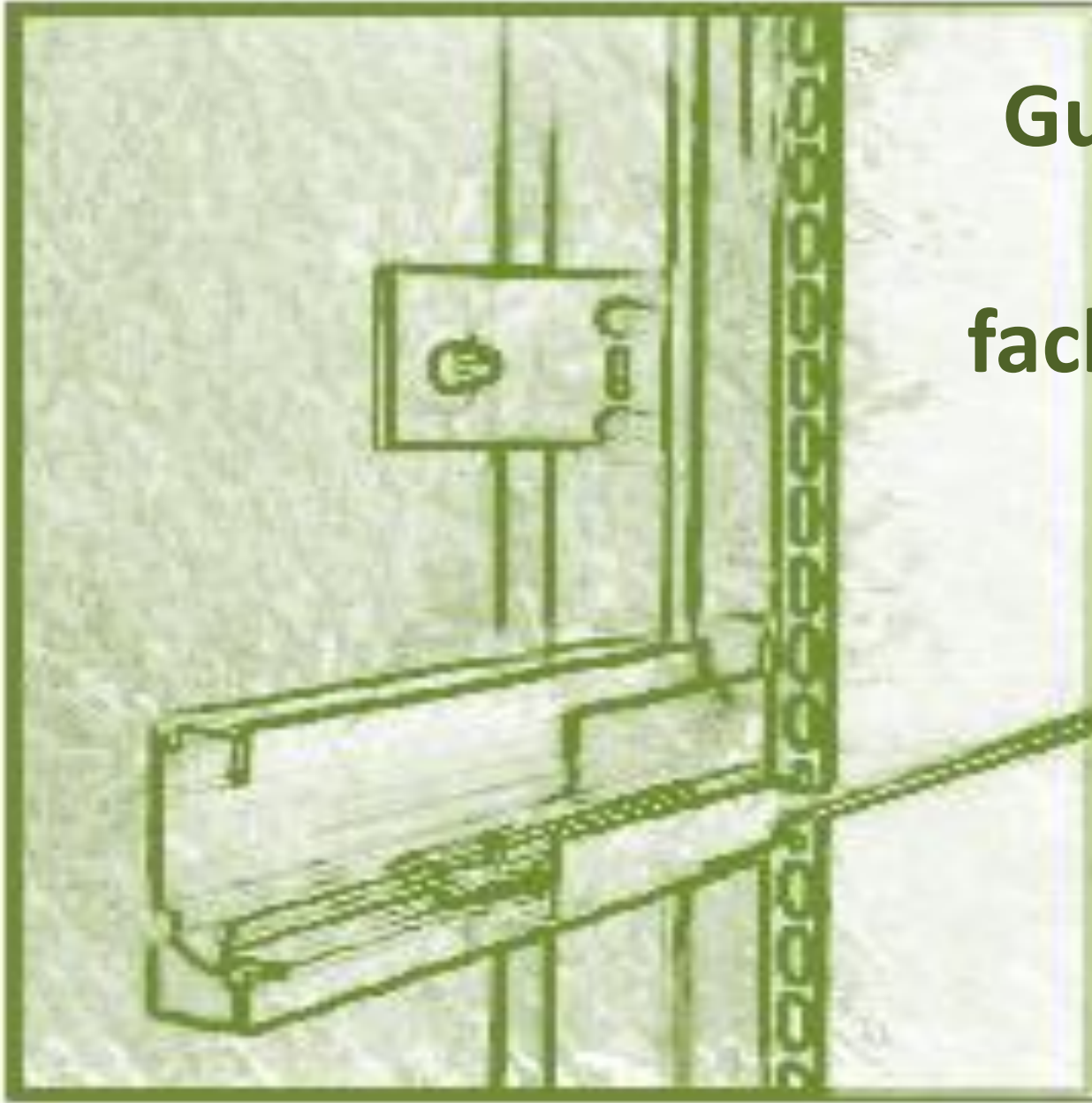
PEGGE, E.A., et al. Measurements and simulations of airflow in a mechanically ventilated active facade. In: Rode C. (Ed.), *Proceedings of the 8th Symposium of Building Physics in the Nordic Countries, June 2008*, pp. 339-346. Copenhagen, Denmark: DTU.

PÉRE M. M. et al . Cuantificación de la eficiencia de la fachada cerámica ventilada mediante técnicas de la mecánica de fluidos computacional. In: *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*. Marzo-Abril 2011, Vol 50, 2, p.99-108.

SALONVARRA M.; KARAGIOZIS A. N.; MILLER, M. P. W. *Air Cavities Behind Claddings: What Have We Learned?* ASHRAE, 2007. Disponible en: <http://web.ornl.gov/sci/roofs+walls/staff/papers/210.pdf>

SEFERIS P. et al. Investigation of the performance of a ventilated wall. In: *Energy and Buildings*, September 2011, Volume 43, Issue 9, p. 2167–2178. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.04.023>.

STOVALL ,T. K., KARAGIOZIS P.E. A. *Airflow in the Ventilation Space behind a Rain Screen Wall*. ASHRAE, 2004. Disponible en: http://web.ornl.gov/sci/roofs+walls/staff/papers/new_35.pdf



Guía de diseño para utilización de la fachada ventilada en Brasil: eficiencia energética

INTRODUCCIÓN

Toda tecnología en su recorrido desde su invención hasta su muerte pasa por procesos de adaptación cuando se incorpora nuevas realidades, culturales, sociales y/ o climáticas. Es un proceso que empieza con promesas, pasa por verificaciones e por fin adaptaciones a nueva realidad.

Este es el caso de la fachada ventilada adaptada a los climas mediterráneos a partir de la experiencia inglesa y ahora aparcando en Brasil con la promesa de eficiencia energética y sostenibilidad.

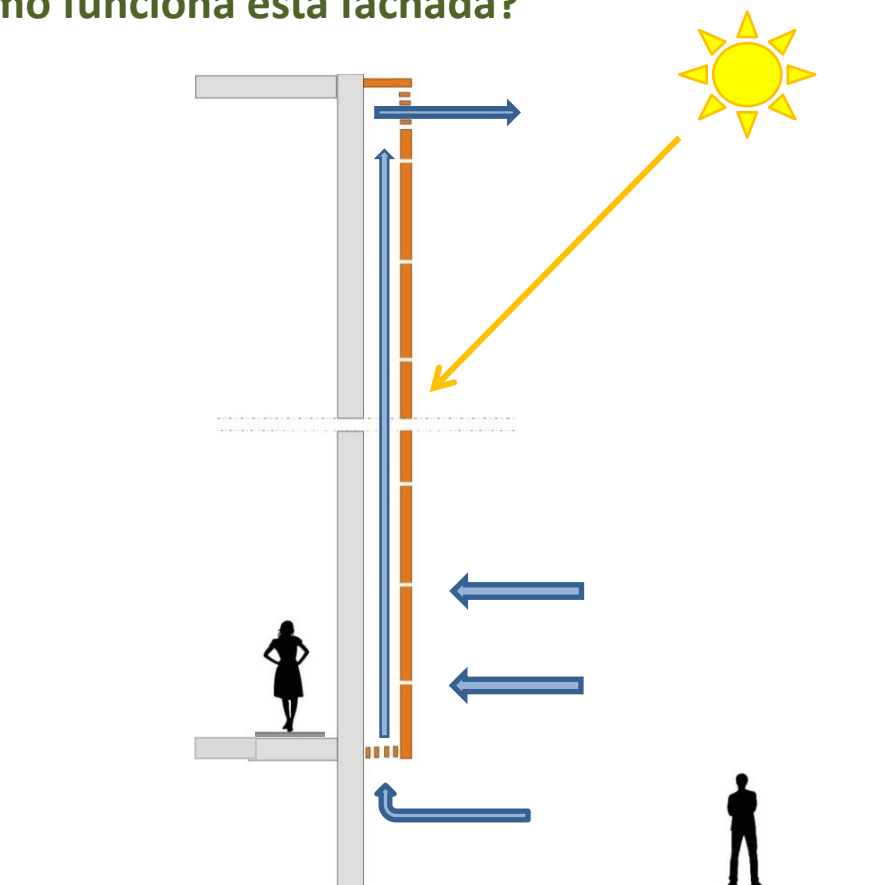
El tema energético actual, con precios cada vez más altos y fuentes no renovables de energía que aún no pueden ser sustituidas, hace que se busquen buenas prácticas en todos los ámbitos. En el sector de la construcción, responsable por consumir grandes cantidades de energía para producción y utilización de los edificios, el tema de la eficiencia energética es emergente. Edificios de nueva construcción que ahorren energía y rehabilitaciones ecoeficientes son temas importantes, tanto en Europa cuanto en Brasil, y el tema de las fachadas es bastante discutido.

Cuando esta idea atraviesa el Atlántico y llega a Brasil cuyo clima es bastante diferente de Europa y diverso en sí mismo, hay que estudiar si los beneficios que provee en Europa siguen en tierras tropicales.

Este guía tiene el objetivo dar directrices de diseño para una mejor utilización de la fachada ventilada en Brasil, en cada una de sus 8 zonas bioclimáticas. Diseñar para la eficiencia energética.

Si bien diseñada y ejecutada es posible conseguir ahorros energéticos de 30 a 50 % en refrigeración y condiciones bastante mejores de habitabilidad en los climas fríos.

Cómo funciona esta fachada?



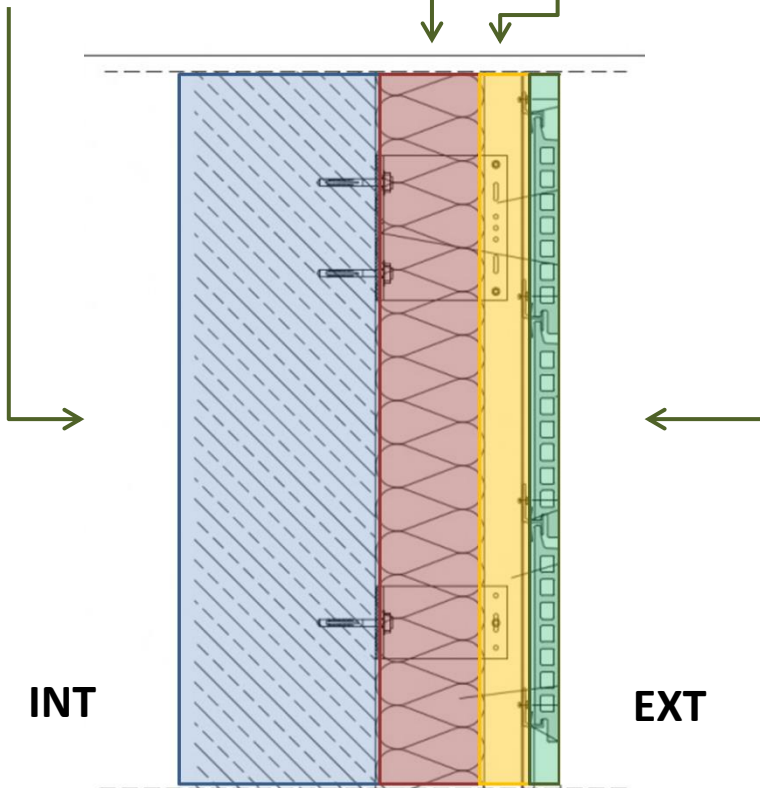
Proceso básico de funcionamiento de una fachada ventilada:

- ✓ El sistema tiene básicamente 4 capas: hoja exterior, cámara de aire, aislamiento térmico y hoja interior.
- ✓ El aire entra por una cavidad inferior o por las juntas, sube por efecto chimenea y sale por la parte de arriba.
- ✓ El aire dentro de la cámara se calienta con la incidencia de la radiación solar por eso sube.
- ✓ Hay cambio de aire en la cámara mientras el sol incide en la fachada.
- ✓ Este efecto junto a la elección de los materiales hacen que el uso de la fachada ventilada presente demandas de refrigeración más bajas.

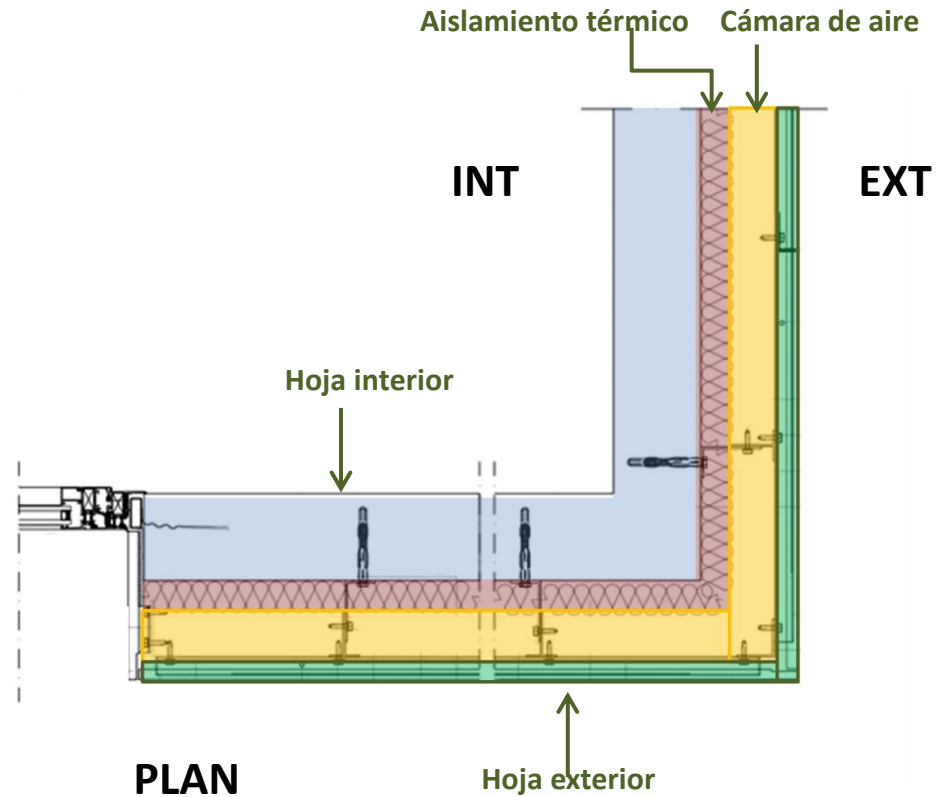
CAPAS

Es posible dividir la fachada ventilada en 4 capas :

hoja interior - aislamiento térmico - cámara - hoja exterior



SECCIÓN



PLAN

Lo que sujeta la hoja exterior es una subestructura metálica que está fijada a la hoja interior. La hoja exterior es colgada en esta estructura.



Características térmicas de cada capa

Influencian en la absorción

Hoja exterior

Absorbe la radiación solar

- Formato
- Acabado superficial
- Color
- Material

Aislamiento térmico

Bloquea el calor

Influencian en el bloqueo

- Tipo
- Espesor

Cámara de aire

Renovar el aire

Influencian en la renovación

- Espesor
- Entradas y salidas de aire

Soporte

Subestructura que cuelga
La hoja exterior

Influencian del tipo de soporte

- Tipos de juntas

Hoja interior

- Material

ZONAS BIOCLIMÁTICAS 1, 2 Y 3

1



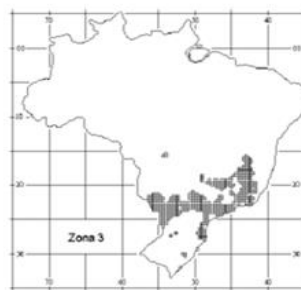
Curitiba

2



Bagé

3



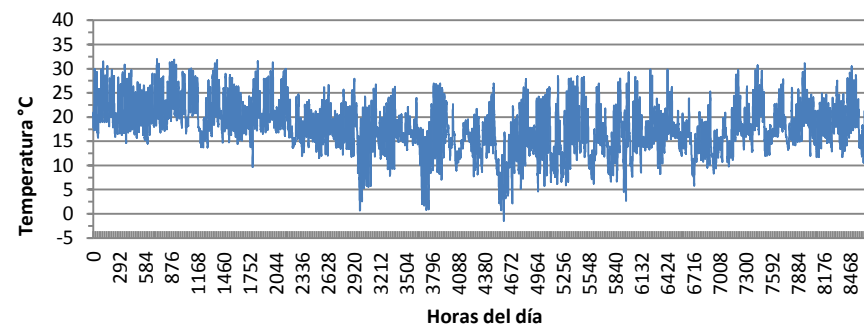
São Paulo

Campos do Jordão (SP)
Caxias do Sul (RS)
São Joaquim (SC)
Lages (SC)
Palmas (PR)
Guarapuava (PR)
Castro (PR)

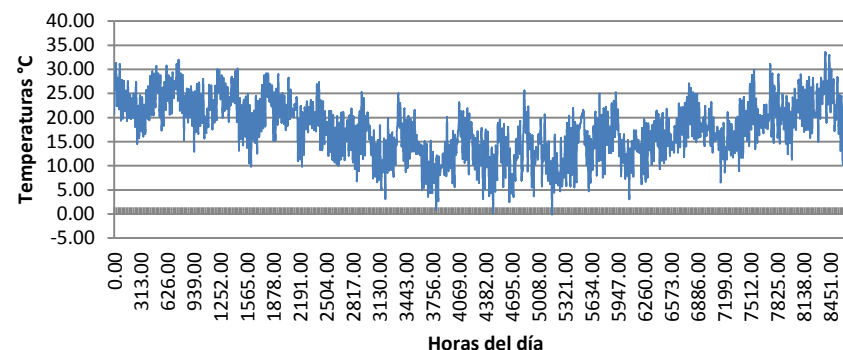
Santa Maria (RS)
Uruguaiana (RS)
Pelotas (RS)
Piracicaba (SP)
Itapeva (SP)
Xanxerê (SC)
Ponta Grossa (PR)

Belo Horizonte (MG)
Florianópolis (SC)
Porto Alegre (RS)
Campinas (SP)
Londrina (PR)
Sorocaba (SP)
Petrópolis (RJ)

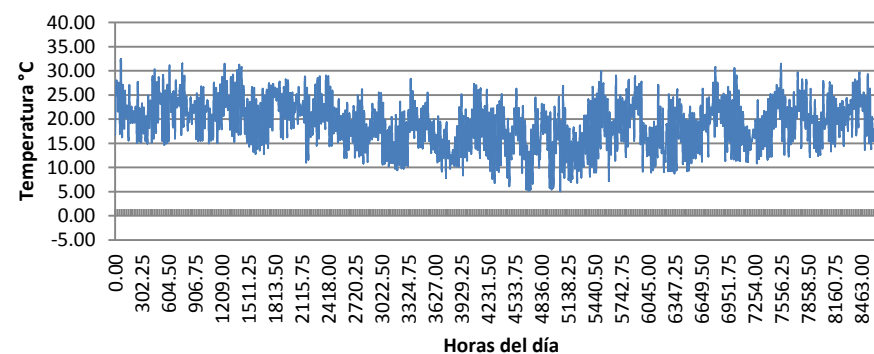
Temperaturas exteriores anuales - Curitiba - zona 1



Temperaturas exteriores anuales - Bagé - zona 2



Temperaturas exteriores anuales - São Paulo - zona 3



Las zonas bioclimáticas 1, 2 y 3 tienen características semejantes en cuanto clima y su comportamiento es muy semejante cuando utilizada la fachada ventilada.

En estas zonas la preocupación mayor es con los periodos fríos.

Las zonas 1 y 2 son las más fría la zona 3 ya presenta mayor período de calor. Amplitud térmica es una característica muy presente en estos climas.

Acciones en las diferentes capas de la FV

Capa	Estación del año	Función	Acción de diseño
Hoja exterior	Invierno	Acumular más calor en invierno	Color oscuro/ material indiferente
	Verano	--	Zona 3 – color claro
Cámara de aire	Invierno	Mantener la temperatura alta en invierno	Sin ventilación/ anchura indiferente
	Verano	--	--
Aislamiento térmico	Invierno	Mantener las temperaturas interiores altas en invierno	Aislamiento térmico moderado, preferencialmente lana mineral con acabado liso (disminuir la rugosidad interna)
	Verano	--	--
Hoja interior	Invierno	Mantener las temperaturas más altas en el interior en invierno. Tener inercia térmica para aguantar la amplitud térmica	Materiales con inercia térmica como ladrillo cerámico macizo
	Verano		

- El aislamiento térmico es importante para mantener la temperatura interna en confort y obtener demandas menores de calefacción. El debe tener de 5cm cuando utilizado con cerramiento pesado y hasta 15cm si utilizado con cerramiento ligero.
- El color oscuro aumenta la temperatura de la cámara de aire lo que es beneficioso para el ambiente interior en invierno.
- Hay que subrayar ,sin embargo, que el color tiene muy poca influencia en el comportamiento general de la fachada ventilada si el aislamiento térmico es grande. El ahorro va de 0,5 a 1,3 %.
- La hoja exterior de color clara presenta temperaturas en la cámara semejantes a las fachadas que no reciben incidencia del sol. Así el color es indiferente si no hay incidencia solar (por ejemplo en la fachada sur)
- En las zona 1, 2 y 3 la cantidad de aire que pasa por la cámara afecta poco las demandas energéticas. El mejor comportamiento ocurre con la fachada que no tiene ventilación.
- El mejor comportamiento térmico se observó en la fachada sin ventilación, con hoja interna convencional y aislada exteriormente por 5cm de lana mineral y hoja exterior cerámica oscura.

Detalles

Arranque y coronación

Para que en la cámara de aire no haya ventilación es importante mantener entradas y salidas de aire cerradas.

Entradas de aire

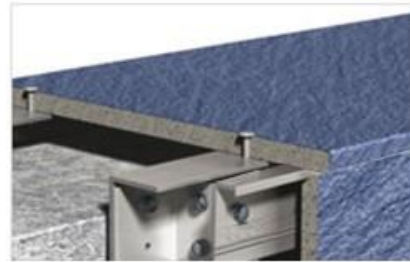


En estas imágenes se observa que la fachada ventilada empieza en el primer piso y está cerrada por algún tipo de tapón metálico o cerámico

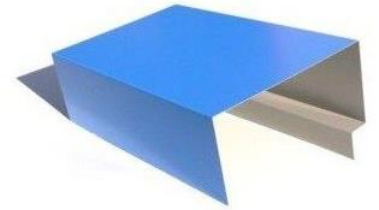
Salidas de aire



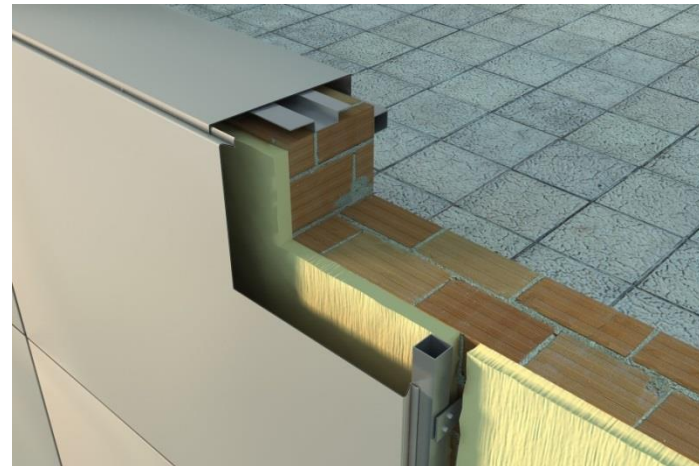
Con salida



Sin salida



Com pequeños detalles se puede cerrar la salida de aire



Juntas y sistema de sujeción

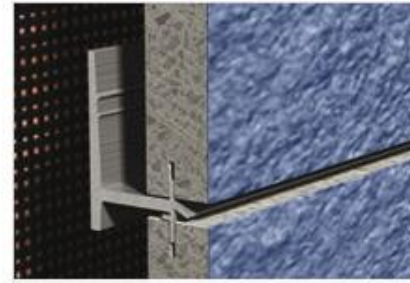
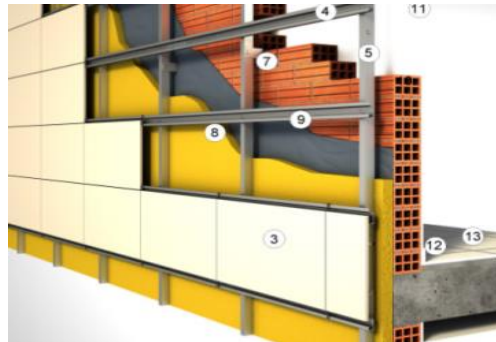
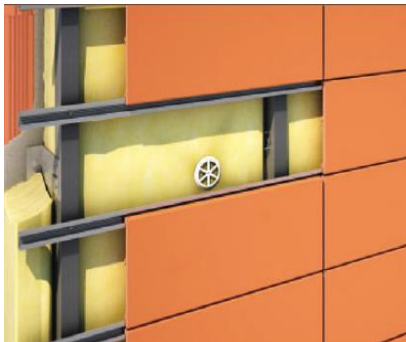
Otro punto importante es mantener las juntas cerradas y la elección del sistema de sujeción es importante



En la imagen de la izquierda la sujeción deja las juntas abiertas



En la imagen de la derecha la sujeción deja las juntas cerradas



Detalle guía horizontal , sin juntas abiertas.

Observaciones:

Revoco en la cámara debe ser extremadamente liso para evitar rugosidades

Si la junta for abierta, lo mejor es que sea lo más pequeña posible, 3mm .

En la fachada sur por ejemplo puede no existir cámara de aire en la zona 1, 2 y 3.

ZONAS BIOCLIMÁTICAS 4, 5 y 6

4



5



6



Brasília



Vitória da Conquista



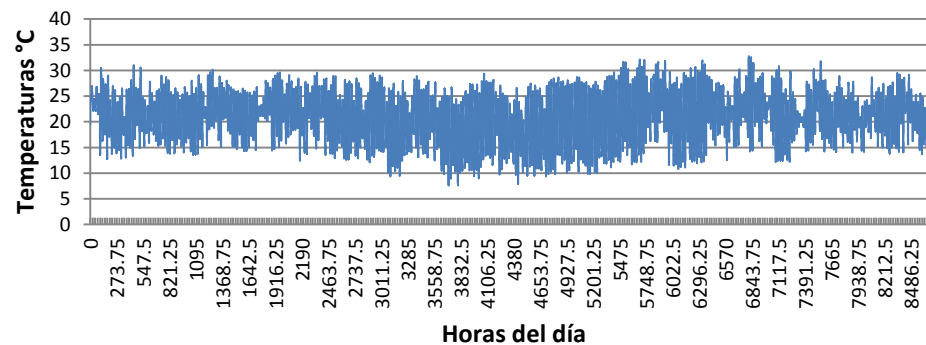
Campo Grande

Viracopos (SP)
São Carlos (SP)
Limeira (SP)
Sete Lagoas (MG)
Jaú (SP)
Luziânia (GO)

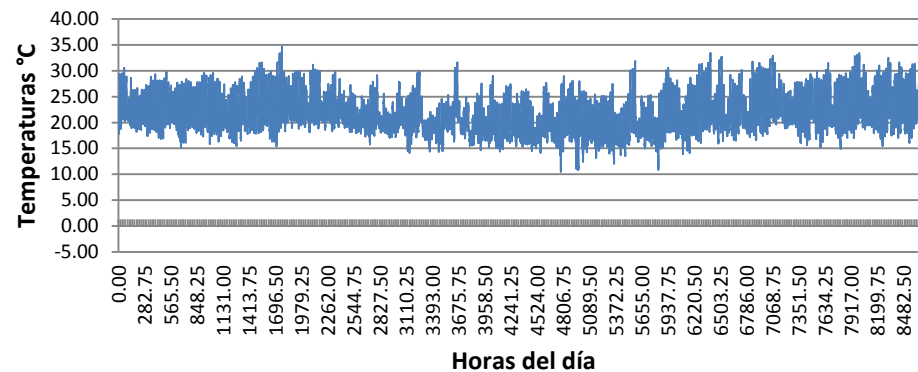
Teófilo Otoni (MG)
Gov. Valadares (MG)
Cataguases (MG)
Campos (RJ)
Araçatuba (SP)
Santos (SP)

Goiânia (GO)
Votuporanga (SP)
Andradina (SP)
Pirenópolis (GO)
Frutal (MG)
Monteiro (PB)

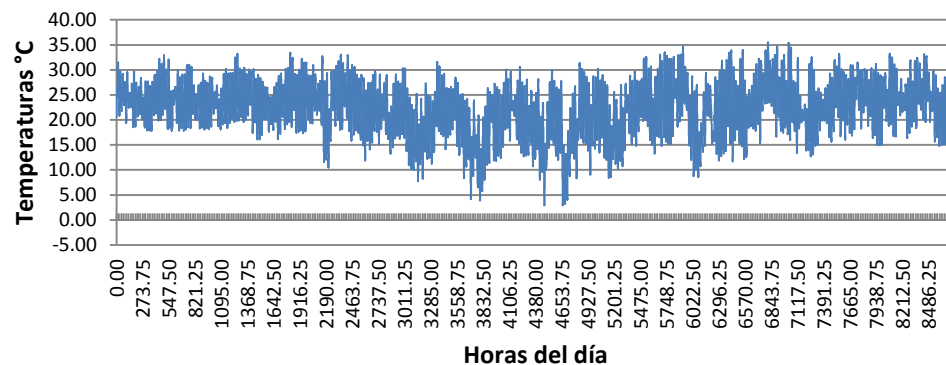
Temperaturas exteriores anuales - Brasília - zona 4



Temperaturas exteriores anuales - Vitória da Conquista - zona 5



Temperaturas exteriores anuales - Campo Grande - zona 6



A diferencia de las tres primeras zonas, en las zonas 4, 5 y 6 predominan las altas temperaturas, incluso en invierno. Se puede percibir que en el periodo más frío (junio, julio y agosto) las temperaturas nocturnas son más bajas, y pueden llegar a los 8°C, sin embargo durante el día esta temperatura puede subir a los 26°C. No es infrecuente que se llegue a los 30 °C en esta época. La zona 4 es la que presenta mayor amplitud térmica, En estas zonas el aislamiento térmico no funciona tan bien como en las anteriores.

Acciones en las diferentes capas de la FV

capa	Estación del año	Función térmica	Acción de diseño
Hoja exterior	Invierno	--	
	Verano	No absorber calor	Color claro / $\alpha \leq 0,5$ / material con más inercia
Cámara de aire	Invierno	--	--
	Verano	El aire debe pasar por la cámara. Mantener la temperatura lo más baja posible (10 a 15 cm)	Con máxima ventilación. Efecto chimenea (entradas y salidas grandes) o inducir ventilación mecánica.
Aislamiento térmico	Invierno	No debe ser utilizado en estos climas por atrapar el calor de la cámara y dentro del propio edificio (ganancias solares e internas)	--
	Verano		
Hoja interior	Invierno	--	Materiales con inercia térmica como ladrillo cerámico o macizo
	Verano	Inercia térmica para aguantar la amplitud térmica	

- El color claro es el mejor para las tres zonas, baja la demanda de refrigeración. Sin embargo el color es indiferente si no hay incidencia de radiación solar.
- La hoja exterior con más masa (cerámica) reduce la demanda de refrigeración en todas las zonas. Sin embargo la reducción es menor que la debida al color del cerramiento exterior.
- Cuanto más aire en la cámara, mayor el ahorro energético. La cámara de aire debe tener de 10 a 15 cm de ancho.
- Entre las mayores aperturas (entradas y salidas) o la situación dónde se ha aumentado todo (cámara, juntas y aperturas) no hay grandes diferencias, se puede, así, elegir lo más sencillo, aumentar las aperturas de entrada y salida.
- El mejor cerramiento para la zona 4 ha sido el que presenta la hoja interior maciza, la hoja exterior cerámica clara y entradas y salidas de aire mayores. Ya en las zonas 5 y 6, lo más efectivo ha sido el cerramiento igual que el 4 pero añadiendo una lámina de baja emisividad en la cámara.



Absortividad para radiación solar (α)

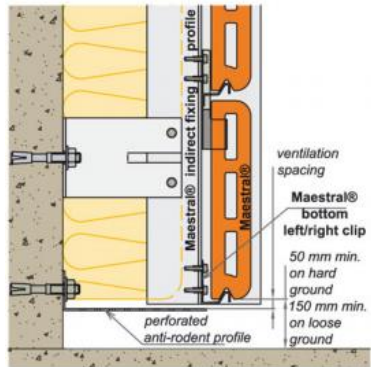
Material (superficie)	(α)
Hoja de aluminio brillante	0,05-0,10
Pintura en aluminio	0,40 -0,50
Madera clara	0,40
Ladrillo , teja, piedra	0,70
Hormigón	0,45- 0,60
asfalto	0,85

Color	Claro	Medio	Oscuro
Blanco	0,20	0,30	-
Amarillo	0,30	0,50	0,70
Bege	0,35	0,55	0,75
Marrón	0,50	0,75	0,92
Rojo	0,65	0,80	0,90
Verde	0,40	0,70	0,88
Azul	0,50	0,80	0,95
Gris	0,40	0,65	-
Negro	-	0,96	-

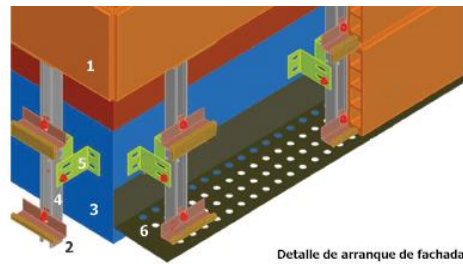
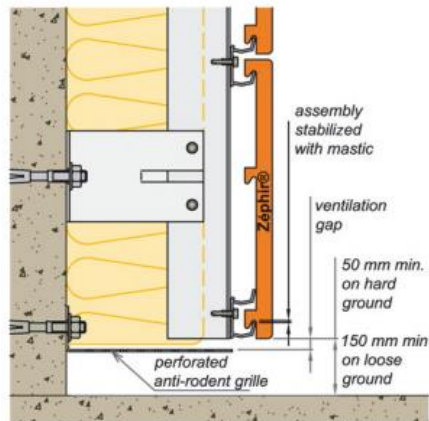
Arranque y coronación

Entrada de aire

Para que el aire pase con mayor velocidad y en mayor cantidad, la entrada y la salida del aire deben ser lo mayor posible. Las empresas disponen de detalles , pero es importante pensar en soluciones que dejen más aire entrar.

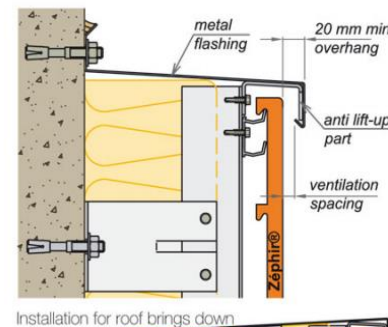
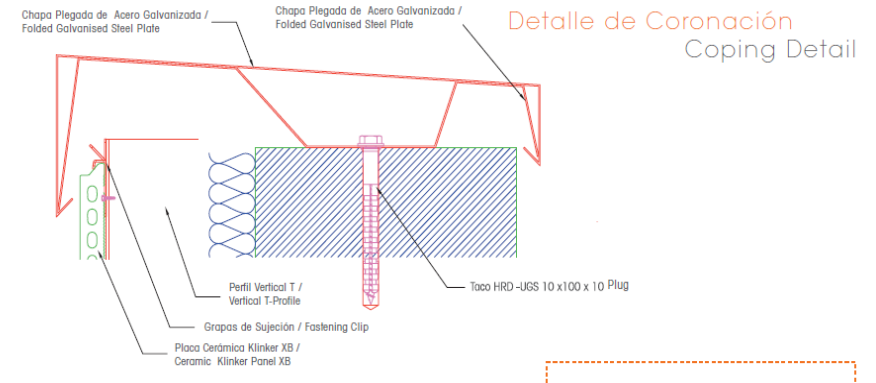


Mathilde Private Hospital, Rouen, France - Architect: Patrick Gardais

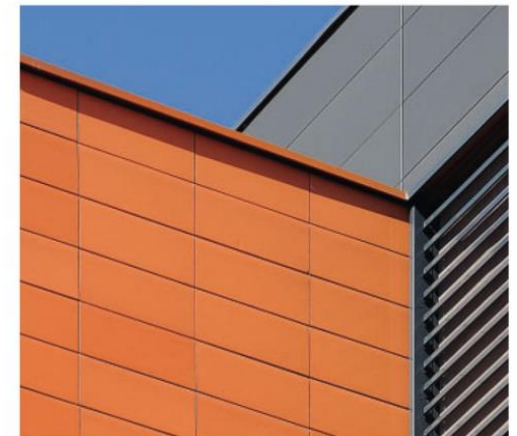
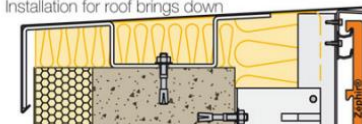


Detalle de arranque de fachada

Salida de aire



Installation for roof brings down



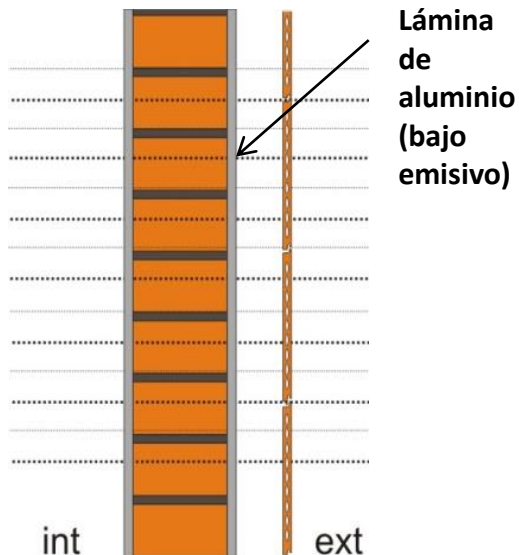
'Clinique du Parc' Private Hospital, Lyon, France - Architect: Xanadu Architectes & Urbanistes (Iwan Ponsonnet)

Emisividad en la cámara de aire

Otra forma de reducir las ganancias de calor en la cubierta y las paredes exteriores es disminuir la absorción de la energía solar por el uso de materiales de alta reflectancia en su cara exterior o reducir la cantidad de energía térmica de onda larga irradiada para el interior de los ambientes con el empleo de materiales de baja emisividad.

El aluminio brillante presenta la emisividad baja y es bastante utilizado en tejados.

La sugerencia es que se utilice una lámina de aluminio similar al tejado, pero dentro de la cámara ventilada. Esto disminuiría el paso de calor hacia dentro.



Juntas y sistema de sujeción

Deben seguir los mismos consejos de las zonas 1, 2 y 3, es decir, juntas cerradas. Una vez que las entradas y salidas bastan para generar un movimiento continuo y más laminar del aire. Las juntas generan turbulencias

ZONAS BIOCLIMÁTICAS 7 y 8

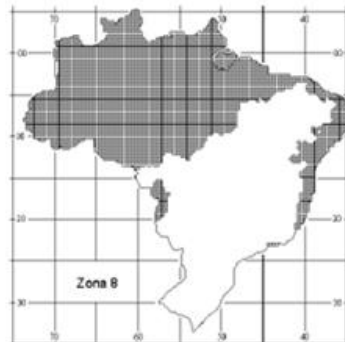
7



Petrolina

Teresina (PI)
 Floriano (PI)
 Cuiabá (MT)
 Paulo Afonso (BA)
 Senhor Bonfim (BA)
 Imperatriz (MA)
 Sobral (CE)

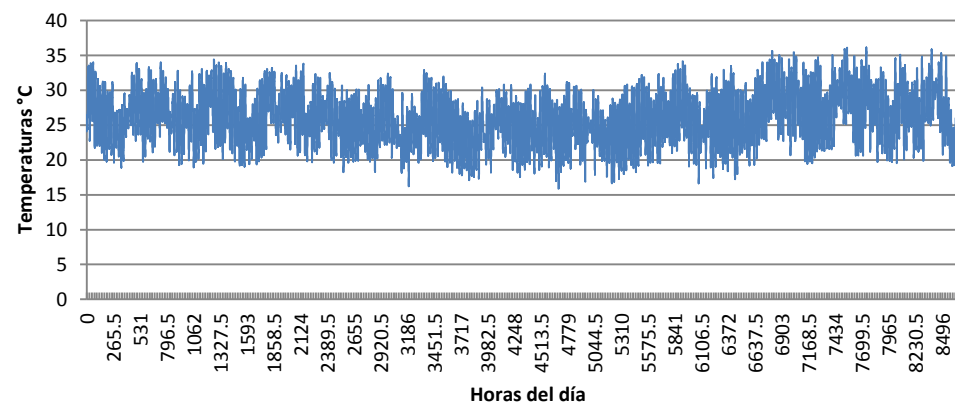
8



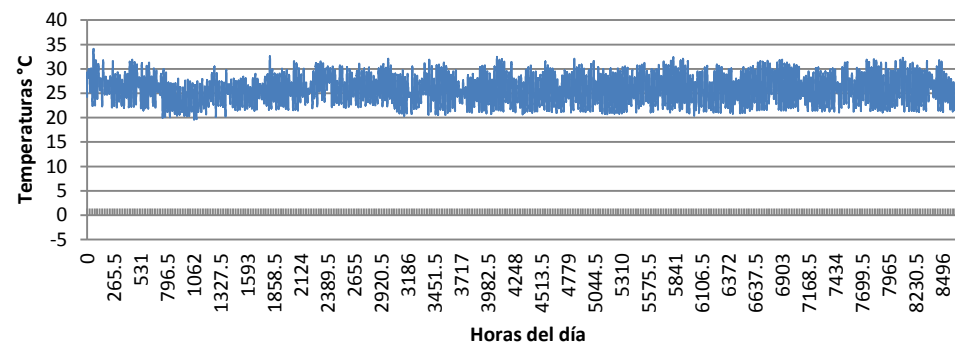
Belém

Rio de Janeiro (RJ)
 Recife (PE)
 Salvador (BA)
 São Luiz (MA)
 Manaus (AM)
 Vitória (ES)
 Natal (RN)

Temperaturas exteriores anuales - Petrolina - zona 7



Temperaturas exteriores anuales - Belém - zona 8



Las dos zonas están situadas en el noreste y norte del país. Abajo si presentan sus ubicaciones, temperaturas anuales y radiación solar en las diferentes fachadas. Son los climas con temperaturas más estables del país. No existe invierno, o estación fría en estas localidades. Hay períodos de más lluvia y de menos lluvia, pero las temperaturas están siempre sobre los 20°C y durante el día pueden pasar de los 35°C. El área comprendida por la zona 8 es la mayor del país, pero gran parte de esta zona está en la selva.

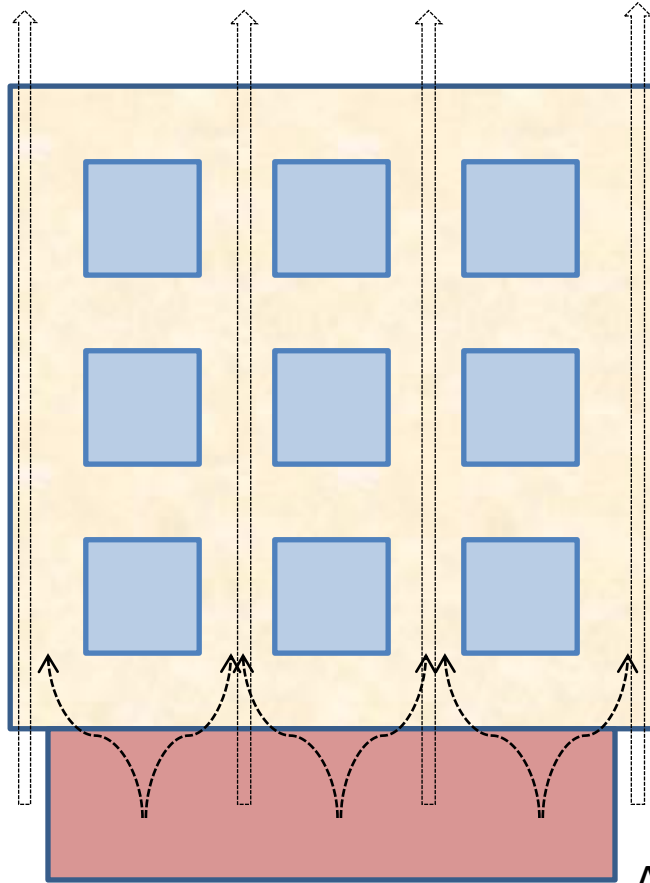
Acciones en las diferentes capas de la FV

capa	Estación del año	Función térmica	Acción de diseño
Hoja exterior	Invierno	--	
	Verano	No absorber calor	Color claro / $\alpha \leq 0,5$ / material con más inercia
Cámara de aire	Invierno	--	--
	Verano	El aire debe pasar por la cámara. Mantener la temperatura lo más baja posible	Con máxima ventilación. Efecto chimenea (entradas y salidas grandes) o inducir ventilación mecánica.
Aislamiento térmico	Invierno	No debe ser utilizado en estos climas por atrapar el calor de la cámara y dentro del propio edificio (ganancias solares e internas)	--
	Verano		
Hoja interior	Invierno	--	Materiales con inercia térmica como ladrillo cerámico o macizo
	Verano	Inercia térmica para aguantar la amplitud térmica	

- Las demandas de refrigeración son bastante altas, especialmente en la zona 7.
- El color exterior claro mejora un poco el comportamiento térmico de la fachada, disminuyendo las demandas pues las temperaturas resultantes en la cámara se asemejan al cerramiento sin incidencia solar (fachada sur).
- La hoja exterior cerámica reduce de 0,76 a 0,86% la demanda de refrigeración.
- Cuanto más aire en la cámara, menores las temperaturas, la cámara de aire debe tener entre 10 y 15 cm de ancho.
- Está bastante claro que la diferencia de temperatura en la cámara influencia el gasto energético. Ella debe ser lo más bajo posible.
- La baja emisividad sólo funciona junto a otras estrategias como color claro y ventilación abundante.
- El cerramiento con mejor comportamiento térmico en las dos zonas ha sido la fachada con hoja interior de ladrillo macizo, entradas y salidas mayores, hoja exterior cerámica clara y con baja emisividad en la cámara de aire.
- La diferencia entre una fachada con emisividad normal (12% de ahorro) y con emisividad baja (15% de ahorro) es pequeña, pero no se puede olvidar.
- Aumentando la cantidad de aire de circula por la cámara (de 10 para 20 renovaciones por hora) se consigue ahorrar un 1% en refrigeración,
- Cuando el aislamiento térmico es grande, como el caso del modelo, aumentar o disminuir el ancho de la cámara no modifica en nada las condiciones en el interior del edificio. Sin embargo si no hay aislamiento la cámara estrecha (3cm) presenta la mayor demanda, comparada a 9cm del modelo y 15 cm.

Ideas Generales de Diseño

- Siempre en todas las zonas controlar la rugosidad de las superficies dentro de la cámara, ellas deben ser muy lisas.



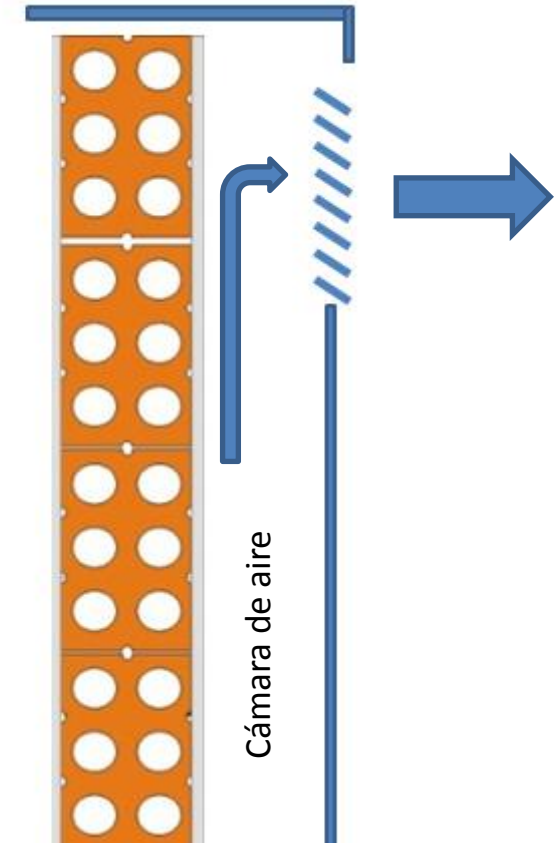
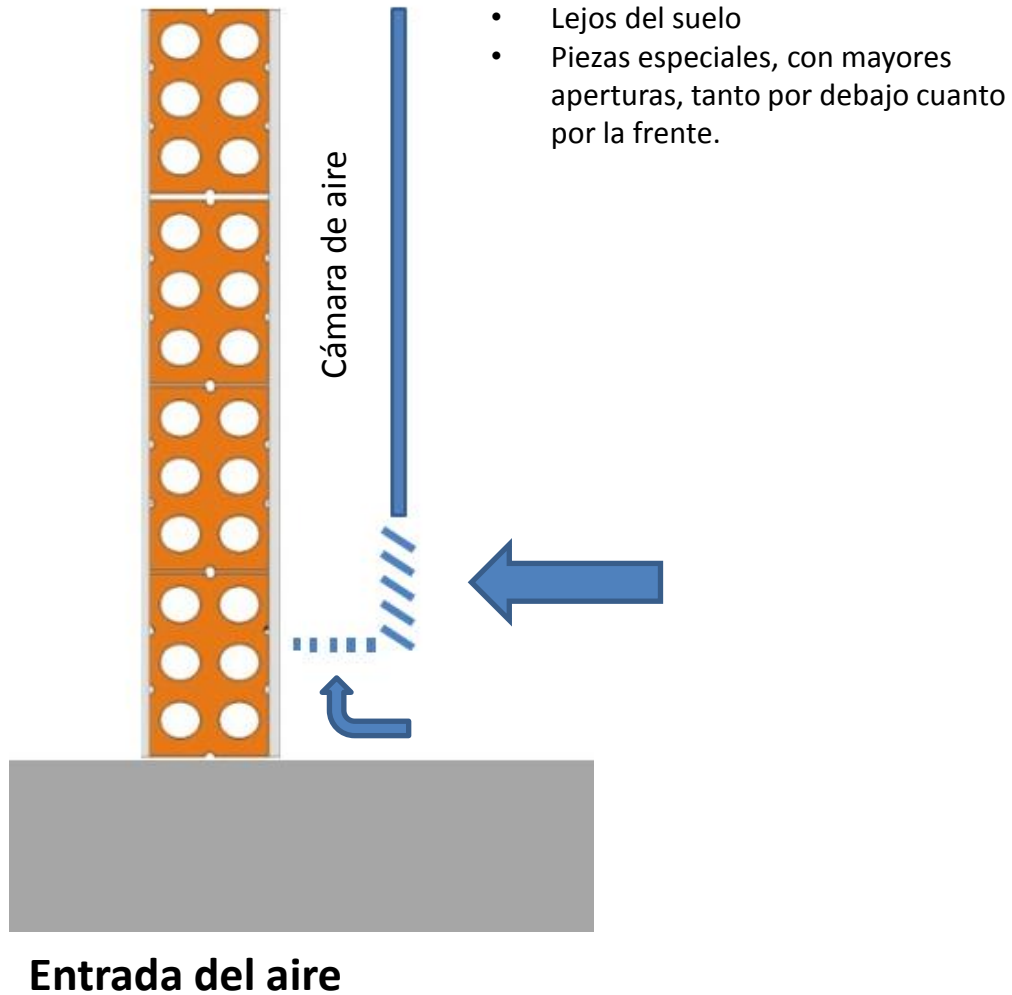
- Diseñar de forma que las cámaras tengan gran altura, para que ocurra el efecto chimenea (alzado frontal).
- Es interesante que la fachada ventilada empiece en el primer piso para permitir mayor la entrada de aire.



Porcentaje ideal de acristalamiento para que la fachada ventilada sea eficiente:

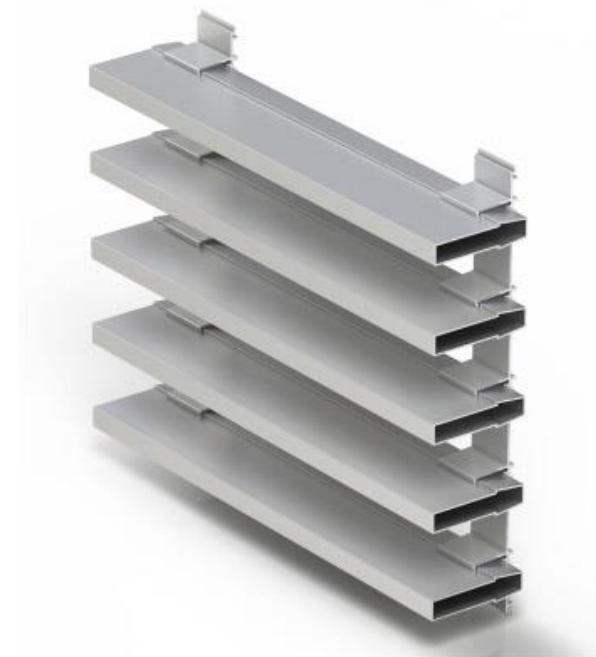
- Zonas 1, 2 y 3 : máximo de 60%
- Zonas 4, 5, 6, 7 y 8 – máximo de 40%

Detalles de entradas y salidas de aire



Salida del aire

- Debe existir una pieza especial para la salida del aire , pensada de maneia que sea grande y el paso del aire sea facilitado



Detalles que podrían estar en la entrada y la salida de aire.